

# *INSTITUT »RUĐER BOŠKOVIĆ«*

*1950 - 1980*





*INSTITUT »RUĐER BOŠKOVIĆ«*

*1950 - 1980*

*INSTITUT »RUĐER BOŠKOVIĆ«*

*1950 - 1980*

*Svrha je prikaza rada Instituta u ovoj spomenici da se sažeto iznesu glavni pravci istraživanja i neki od problema, poteškoća i neuspjeha Instituta i njegovih suradnika. Željeli smo prikazati najglavnije napore Instituta da se uključi u opće tokove razvoja naše Republike, pa i cijele naše zemlje, u skladu s idejom vodiljom da je prijeko potrebno upotrebljavati što više vlastitoga znanja radi što samostalnijega razvitka društva. Kad se danas osvrćemo unatrag, možda gubimo osjećaj za uložene napore, za poteškoće koje su se činile nepremostivima, za neuspjehe što su nas teško pogodali i za uspjehe koji su nam se ponekad činili upravo golemima. Ako Institut danas ima zaista čime da se ponosi, onda to nisu toliko sami uspjesi (kojih je bilo) koliko činjenica što su oni postizani unatoč mnogobrojnim poteškoćama.*

*Naš Institut, kao multidisciplinarna i interdisciplinarna znanstvenoistraživačka organizacija, otvoren je i okrenut u svojem radu svim drugim srodnim ustanovama, a napose udruženom radu u materijalnoj proizvodnji. U tom je smislu potrebno potanko utvrditi, izraditi i uskladiti razvojne planove našega Instituta s razvojnim planovima drugih područja rada.*

*Današnji radnici Instituta »Ruđer Bošković«, slaveći tridesetu obljetnicu njegova postojanja, svjesni su obaveza koje nadolaze i vjeruju da će - zajedno s novim, mladim, kadrovima - uspješno izvršavati buduće znanstvene, razvojne i primijenjene zadatke. To će biti njihov doprinos općem dobru i napretku.*

*Zagreb, studeni 1980.*

*Direktor Instituta:  
Vojno Kundić*

# UVOD

U temelje svakoga ljudskog ostvarenja - materijalnog ili onog iz sfere ideološke nadgradnje - ugrađena je vizija i entuzijazam ljudi koji su ga zamislili i najviše mu pridonijeli. Vizija Instituta »Ruđer Bošković« kao znanstvenog centra, s profilom i programom revolucionarnim za ono doba, počela se ostvarivati u ranim poratnim godinama zaslugom i radom grupe zagrebačkih znanstvenika i uz aktivnu pomoć društvenih radnika u republičkim i savezanim organima. Bilo je pravilno ocijenjeno da će fundamentalne prirodne znanosti u idućim desetljećima odigrati značajnu ulogu u tehnološkom napretku, te da će taj napredak biti temeljem materijalnoga blagostanja društva. Trebalo je, međutim, u tim godinama nestati i prioriteta zadatka materijalne obnove opustošene zemlje, mnogo upornosti, dobre volje i povjerenja u znanost da se pristupi takvom poslu.

Povijest Instituta počinje u svibnju 1950, kad je odlukom Privrednog savjeta i Vlade FNRJ, u sastavu Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti (JAZU) osnovan Institut za atomsku fiziku, radi bavljenja znanstvenim istraživanjima iz te grane znanosti. Osnivanju Instituta, uz republička tijela, značajnu podršku dao je Boris Kidrič, jedan od glavnih pokretača poratnog privrednog i tehnološkog razvitka naše zemlje. Trebalo je da se novi Institut u prvom redu bavi teorijskim istraživanjima, ali su osnivači od samog početka imali pred sobom sliku znanstvene ustanove široko okrenute fundamentalnim istraživanjima. Izbor pak prvog istraživačkog područja, područja atomske fizike u širem značenju, bio je djelomično odraz šoka u kojem se čovječanstvo našlo nakon eksplozije atomske bombe, kao i obećanja koja je pružala nova vrsta energije. Događaji u Institutu i izvan njega, međutim, upravili su njegov razvoj u nešto drukčijem smjeru od onog što su ga zamislili osnivači.

Odmah nakon odluke Vlade FNRJ o osnivanju Instituta, imenuje Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti odbor stručnjaka sa zadatkom da odredi strukturu novoosnovane institucije. Uz Ivana Supeka, glavnog inicijatora osnivanja Instituta, odbor su tvorili Drago Grdenić, Josip Lončar, Vatroslav Lopaišić i Mladen Paić, a predsjednik mu je bio Željko Marković. Već na prvim dogovorima Odbor odlučuje da Institut obuhvati odjele teorijske fizike, molekularne fizike, nuklearne fizike i elektronike.

U listopadu 1951. Institut dobiva ime našega slavnog astronoma i fizičara, Dubrovčanina Rudera Boškovića. U svibnju 1952. predsjedništvo JAZU utvrđuje novu organizacijsko-administrativnu shemu Instituta, gdje se, uz osobit naglasak na istraživanju s područja fizike, prvi put pojavljuju i istraživanja iz kemije. U tom značajnom koraku, kojim se zapravo počela ostvarivati zamisao Instituta kao multidisciplinarne znanstvene ustanove, bitna je bila uloga Sabora, koji je, na inicijativu svog tadašnjeg predsjednika, dra Vladimira Bakarića, preuzeo odgovornost za financiranje tog dijela istraživanja. Institut je time dobio znatni financijski i moralni oslonac u Republici, a, osim toga, obuhvatio i mnogo širi krug istraživača sa Sveučilišta. Temeljna je misao bila da će se u zajednici fizičara, kemičara i - nešto poslije - biologa sve tri znanosti podjednako obogatiti.

To što su među osnivačima Instituta većinom nastavnici i istraživači sa Sveučilišta u Zagrebu odražava se sve više i na njegovu organizaciju i strukturu. U tom su razdoblju značajne zasluge Bože Težaka, Krešimira Balenovića i Nikše Allegrettija u organizaciji i usmjerenju fizikalnokemijskih, organskokemijskih i bioloških istraživanja. Kao posljedica tih međudjelovanja, utvrđena je u rujnu 1954. nova organizacija Instituta, kojom je, umjesto dotadašnjih odjela, ustanovljeno 10 grupa: teorijska, nuklearnostruktur-



na, visokoenergetska, elektronička, spektralnostrukturna, fizičkokemijska, radioizotopna, biokemijska, biološka i ciklotronska, te opći servisi. Institut ima upravu, radionice i knjižnicu. Ta se struktura, uz neke izmjene, sačuvala i do danas.

Rješenjem Saveznog izvršnog vijeća, u travnju 1955. Institut je izdvojen iz sastava JAZU, a prava osnivača preuzima Savezna komisija za nuklearnu energiju. Institut postaje ustanova sa samostalnim financiranjem koja će provoditi istraživanja na području nuklearnih znanosti i nuklearne energije; Savezna komisija za nuklearnu energiju financira većinu djelatnosti Instituta uz posebne ugovore. Ta je odluka imala dalekosežne posljedice na razvojni put Instituta, njegov profil, orijentaciju i organizacijsku strukturu.

Godine 1957. djeluje u Institutu Naučni sektor (18 odjela), Naučni sekretarijat (knjižnica i centralni foto-laboratorij), Tehnički sektor (konstrukcioni ured, priprema rada i radionice) i Upravni sektor (4 odjela). Po novim pravilima iz iste godine, Institut ima Savjet, Upravu, Naučni odbor te dva savjetodavna organa: Kolegij i Vijeće pročelnika.

Reorganizacijom 1963. godine generacija koja je u međuvremenu stasala zamjenjuje vanjske suradnike (sveučilišne profesore) u rukovođenju Institutom. Istodobno se Institut organizira u manji broj odjela, od kojih je svaki povezan jedinstvenom problematikom. To su: Teoretska fizika, Nuklearna i atomska istraživanja, Čvrsto stanje, Elektronika, Fizička kemija, Organska kemija i Biologija. Od tada pa dalje, uz male promjene, znanstvenoistraživački profil i struktura Instituta stabiliziraju se, te su organizacijske promjene u idućem razdoblju bile više odraz promjena u našem društveno-političkom sustavu nego rezultat promjena u strukturi Instituta. Ipak, organiziranje Instituta na samoupravnoj osnovi, u osnovne organizacije udruženog rada, udružene u radnu organizaciju Institut »Ruđer Bošković« 1973, značajan je korak u razvoju ove institucije. Danas je samoupravljanje čvrsto ugrađeno u temelje organizacije Instituta.

Značajan datum u razvoju Instituta bio je i referendum od siječnja 1969, kad se s Institutom »Ruđer Bošković« udružio Institut za biologiju mora JAZU u Rovinju, čime je osnovana nova jedinica - Centar za istraživanje mora, s dijelom laboratorija smještenim u Rovinju, a dijelom u Zagrebu. Time je orijentacija Instituta na istraživanje problema mora i čovjekova okoliša dobila značajnu potvrdu.

Danas, 30 godina nakon osnutka, Institut »Ruđer Bošković« ima najveću koncentraciju operativnog znanstvenoistraživačkog kadrovskog potencijala za područje prirodnih znanosti u SR Hrvatskoj. Oko 5000 do sada objavljenih znanstvenih radova, pretežno u međunarodnim edicijama, nisu ostali neapaženi ni u evropskim i svjetskim razmjerima. I Institut kao cjelina i niz njegovih suradnika dostigli su i uživaju značajan međunarodni ugled. Zaslugom tih suradnika za Institut se u svijetu znanosti zna.

Trideset godina vijek je jedne generacije, a, otprilike, toliko već postoji i naš društveni sistem. To je i vrijeme kad jedna institucija izlazi iz doba početnog entuzijazma i mladenačkih bolesti i doseže punu zrelost. Takva institucija može početi starjeti, a može se, stalno pomlađujući svoj potencijal, učvrstiti na fronti znanstveno-tehnološkog napretka. Možemo li, na temelju sadašnjih pokazatelja, zaključiti na kojoj je od tih odrednica Institut »Ruđer Bošković«?

Od samog početka Institut je bio zamišljen kao institucija orijentirana na fundamentalna istraživanja iz prirodnih znanosti. Povezan s time bio je i određen, u pozitivnom smislu, elitistički pristup istraživanju, a kao posljedica i visok kriterij pri izboru kadrova. Međutim, same dimenzije Instituta, konkurencija drugih ustanova, ponekad i orijentacija na financijski zanimljive probleme i drugi uvjeti uzrokovali su da se taj kriterij donekle mijenjao. Mnogo kvalitetnog kadra Institut je napustilo, a priliv novog kadra to nije uspio nadoknaditi, no, unatoč tome Institut i danas okuplja značajan dio kvalitetnog istraživačkog kadra u Hrvatskoj.

Što se, u proteklih 30 godina, može smatrati značajnim doprinosom tog istraživačkog kadra našoj sredini i svjetskoj znanosti? Pitanje ključno pri proslavi jubileja Instituta, ali na koje nije jednostavno odgovoriti. Mogući odgovor jest veliki broj magistara i doktora koje je proizveo Institut »Ruđer Bošković« ili više tisuća znanstvenih radova što su ih njegovi suradnici objavili u međunarodnim časopisima i drugim edicijama. Daljnji mogući odgovor jesu deseci patenata i neposrednih tehnoloških rješenja za domaće privredne organizacije i općenarodnu obranu i mnogo nacionalnih priznanja i nagrada suradnicima Instituta. Ne zaboravimo i veliku ulogu suradnika Instituta u nastavnom procesu, pogotovu onom poslijediplomskog usavršavanja. No, možda bi ipak najočitiiji odgovor bio da na prijašnje pitanje uzvratimo protupitanjem: *kako bi izgledale prirodne znanosti u Hrvatskoj bez Instituta »Ruđer Bošković«? U tom*





Josip Broz Tito je posjetio Institut »Ruder Bošković« 1952. godine

*cjelovito promatranom utjecaju Instituta na znanstvenu klimu u Hrvatskoj, naročito šezdesetih i sedamdesetih godina treba tražiti njegov značaj i ulogu.* U nizu znanstvenih grana - da spomenemo samo fiziku i elektroniku - Institut »Ruder Bošković« označio je početak suvremenog istraživanja u Hrvatskoj. Posebice u tim granama, a i nekim drugima, Institut je znanost u Hrvatskoj pomakao od provincijske zabachenosti na razinu koja se u danim trenucima približavala svjetskom vrhu. Ako su odgovorni znanstvenici i društveni činioци pri osnivanju Instituta imali na umu upravo ovu komponentu, onda se može reći da su im nastojanja bila uspješna i da su njihov ljudski, znanstveni i politički optimizam i hrabrost urodili bogatim plodom. Znanost, pak, nije insularna pojava, s oštro omeđenim nezavisnim područjima, te se podizanje znanstvene razine na jednom području pozitivno odrazilo i na znanstvenu razinu na drugim područjima.

Idući je korak bio prijenos naprednih tehnoloških rješenja u privredu i druge zainteresirane djelatnosti. Premda u tome nije urađeno onoliko koliko se očekivalo, postignuti rezultati nipošto nisu zanemarlivi. Pri tome, možda, nije toliko bitna količina suradnje koliko njena vrsta i kvaliteta. Posebnost Instituta jest u tome što se na njemu moglo postići nešto što drugdje nije bilo moguće: *znanstvena podloga koja je u Institutu postojala omogućila je kvalitativni skok u prijenosu napredne tehnologije u privredne grane, zdravstvo i općenarodnu obranu.* Navedimo, kao ilustraciju, primjer izrade osobnog dozimetra zračenja za potrebe JNA i civilne zaštite. Taj je dozimetar izrastao na podlozi razvijenih istraživanja s područja radijacione kemije; na osnovi tih istraživanja načinjen je njegov prototip i izrada na laboratorijskoj razini, koja je prerasla u značajnu proizvodnju i po financijskom efektu.



Znanstveni potencijal, kao i činjenica da se u svom ranom periodu Institut razvijao pod utjecajem sveučilišnih nastavnika, uvjetovao je značajno angažiranje suradnika Instituta u nastavnom procesu. Prema podacima, koji se, međutim, iz godine u godinu mijenjaju, suradnici Instituta danas vode oko 60 kolegija u dodiplomskoj nastavi i oko 50 u poslijediplomskoj nastavi. U ovoj potonjoj udio Instituta posebno je važan: još je 1953. Vijeće Instituta »Ruđer Bošković« predložilo JAZU i Sveučilištu da prihvati poslijediplomski studij, koji će Institut obavljati kao zajednički posao; taj datum označuje početak poslijediplomskog studija u Hrvatskoj. Ni danas se nastava na nekim od smjerova poslijediplomskog studija ne bi mogla zamisliti bez aktivnog sudjelovanje suradnika Instituta »Ruđer Bošković«. Na Institutu je do sada izrađeno oko 300 diplomskih, 240 magistarskih i oko 150 doktorskih radova. Ove su brojke same po sebi značajne, a u nekim znanstvenim granama predstavljaju veliku većinu produkcije visokostručnog znanstvenog kadra; no, ponovno treba naglasiti da je više od *kvantitete* doprinos Instituta »Ruđer Bošković« bio u *kvaliteti* tih radova, u njihovoj suvremenosti i dovođenju na standardnu svjetsku razinu.

Treba ipak reći da je - usprkos postignutom uspjehu - udio suradnika Instituta »Ruđer Bošković«, i Instituta u cjelini, u nastavi ipak bio manji nego što su njegove mogućnosti dopuštale. Kad se danas gledaju razlozi takva stanja, može se uočiti da se suradnja sa Sveučilištem odvijala više na individualnoj osnovi nego u okviru dogovorenog sistema. Takav način suradnje manje je štetio angažiranju suradnika u nastavi nego što je nerazmjerno umanjivao udio Instituta kao institucije. Ima, međutim, naročito zadnjih godina, i niz primjera da je Institut surađivao na znanstveno-nastavnom polju na temelju samoupravnih sporazuma. U tome će smislu udruživanje Instituta u Sveučilište, početkom 1980, zacijelo pozitivno djelovati na usklađivanje i bolju suradnju s pojediniim fakultetima.

Značajna strana djelatnosti Instituta jest i suradnja sa stranim znanstvenim organizacijama, kao i organiziranje nacionalnih i međunarodnih skupova. U ovom tekstu ne može se ni izdaleka prikazati sva važnost te djelatnosti. Dosta je reći da Institut organizira prosječno desetak međunarodnih skupova godišnje, da neke od tih skupova financiraju i međunarodne organizacije te da, u pravilu, okuplja vrhunske stručnjake s danoga područja.

Gdje je proteklih desetljeća bilo mjesto Instituta »Ruđer Bošković« u međunarodnoj znanosti? Vremenski razmak koji nas dijeli od postignutih rezul-

tata možda je još prekratak, a ljudski obziri možda još preveliki za meritornu ocjenu, te je zato nećemo ni pokušati iznijeti. Pokušat ćemo, ipak, ocijeniti koja su znanstvena i tehnološka dostignuća potekla u našoj sredini, u njoj se razvila i proširila u svijet kao autohtoni naši rezultati. Premda je moguće da je rezultata dobivenih presađivanjem problematike razvijene u velikim svjetskim centrima na naše tlo bilo više, a i da su bili vredniji, ipak nas uz dostignuća iznikla na Institutu veže i sentimentalnost, a i osjećaj nacionalnog ponosa, da smo, usprkos svim ograničenjima koja prirodno proistječu iz male i nerazvijene zemlje, stvorili i razvili nešto što drugi nisu.

Polazeći od fizike, kao grane koja se najranije razvila na Institutu, u tu kategoriju svakako spadaju istraživanja malonukleonskih sistema. Mjerenje jedne od temeljenih konstanti neutronske međudjelovanja, tzv. duljine raspršenja  $a_{nn}$ , izvršeno na akceleratoru izgrađenom u Institutu, veoma je odjeknulo u svjetskoj znanosti i bilo naš prvi značajni međunarodni uspjeh iz fizike postignut na Institutu »Ruđer Bošković«. Nešto poslije, sličan uspjeh postigla su teorijska istraživanja strukture atomske jezgre u okviru tzv. polumikroskopskih modela, u kojima se svojstva atomske jezgre računaju zgodnom kombinacijom jednostavnijih i složenijih metoda. Taj je model s uspjehom testiran u nizu svjetskih laboratorija. Potkraj sedamdesetih godina razvijen je model koji je objašnjavao rezonantne pojave opažene u sudarima teških iona, koji također pobuđuje značajno međunarodno zanimanje. I predviđanja toga modela bila su potvrđena u nekoliko stranih laboratorija, pri čemu su vodeću ulogu igrali naši fizičari. Interes su pobudila i teorijska istraživanja nesačuvanja parnosti pri tzv. slabim nuklearnim interakcijama, tj. interakcijama koje su odgovorne za procese  $\beta$  - raspada i slične nuklearne i subnuklearne procese. Rezultati istraživanja suradnika Instituta na tom području često se citiraju u standardnoj svjetskoj literaturi.

Odmah po osnivanju Instituta počeo je s radom, prvi u Jugoslaviji, rendgenski laboratorij, koji se bavio kristalnom strukturnom analizom. U tom je laboratoriju razrađena i originalna metoda analize kristaliničnog praha, podobna za izučavanje feroelektrika.

Razvoj elektronike na Institutu također je rano započeo. I ta se grana ubrzo probila u prvi red uspješnih istraživanja. Početkom šezdesetih godina tu su načinjena dva prodora povezana s problemom detektiranja i analize neperiodičkih impulsa velike učestalosti sistemima konačnog vremenskog razlučivanja. Brzi sklopovi koji su omogućivali brzine brojenja do nekoliko stotina milijuna impulsa u sekundi, i egzaktna analiza gubitka podataka zbog procesa na-





Panoramska snimka Instituta snimljena s visokog vodotornja

gomilavanja impulsa za obradu, bila su dva međunarodno zapažena rezultata suradnika Instituta »Ruđer Bošković«.

Područje fizikalne kemije obilježeno je radom na proučavanju višefaznih sistema, koloida i površinskih reakcija. Podloga uspjeha tzv. jugoslavenske škole iz koloidne kemije bilo je prihvaćanje ideje o kompleksnosti procesa na granicama faza, opisanim svojstvima tzv. metoričkog sloja. Ta je koncepcija ponikla prije 40 godina iz istraživanja na Sveučilištu, ali se veoma rano uklopila u strukturu istraživačkog rada Instituta. Traženjem biti procesa u promatranim sustavima razvijena je zapažena istraživačka

djelatnost, koja je, u izravnoj suradnji s privredom, dala niz vlastitih doprinosa. Na istom se području razvilo, potkraj pedesetih godina, proučavanje izdvajanja ionskih komponenata iz višekomponentnih otopina metodom dvodimenzionalne elektrokromatografije u vlažnoj komori. Značajka je tog rada i u tome što je to primijenjeno u nizu područja, od kliničke kemije do izdvajanja radionukleotida iz ozračenih meta.

Fizikalna organska kemija kao disciplina uvedena je u nas radovima suradnika Instituta početkom šezdesetih godina. Značajnog odjeka imali su radovi na proučavanju mehanizma reakcija između malih molekula primjenom tzv. deuterijskog izotopnog efekta.



Pogled na dio zgrada i park Instituta sa spomenikom Josipu Ruđeru Boškoviću



Dio Instituta nalazi se u Rovinju. Na slici je zgrada u kojoj su smješteni laboratoriji i akvarij

Među zapaženim rezultatima iz teorijske organske kemije koje su postigli suradnici Instituta, a ponikli su u našoj sredini, svakako treba spomenuti i rad na grafičkom rješavanju problema strukture molekula. Ta topološka metoda, koja se odlikuje jednostavnim općim postavkama, omogućila je proračun svojstava niza molekularnih sustava.

Prelazeći na kompleksnije sustave na području organske kemije i biokemije, treba spomenuti da su se u Institutu razvila i proširila istraživanja iz nekih oblasti tih disciplina - npr. sintetskoj peptidnoj kemiji i kemiji šećera - na kojima se kod nas prije nije radilo; na istom području treba istaći sintetsko-stereo-kemijske radove na neubičajenim i modificiranim fragmentima nukleinskih kiselina, kao i radove na

kemiji adamantana. Pionirski rad na uvođenju tzv. markiranih spojeva, gdje se funkcija i pretvorbe jednog kemijskog spoja u živom organizmu mogu specifično pratiti ugradnjom radioaktivnog atoma u molekulu, doveo je do izolacije dotad nepoznatih metabolita serotonina i do spoznaje da je metabolizam tog biogenog amina mnogo kompleksniji nego što se smatralo.

Istaći ćemo ovdje i kontinuirani uspješni rad na elektronskoj mikroskopiji, koji je bio podloga za niz značajnih istraživanja iz bioloških i kemijskih znanosti. Premda su se, vremenski gledano, biološke znanosti na Institutu najkasnije uključile u istraživački program, i one su se vrlo brzo probile u svjetski rang istraživanja. Spomenimo jedan od najranijih uspjeha, postignut proučavanjem razgradnje nukleinskih kiselina u ozračenim stanicama. Uočeno je da ozračene stanice mnogo bolje preživljavaju ako im se nakon ozračenja dodaju nukleinske kiseline. S područja onkologije, važno je spomenuti i proučavanje imunosupresije izazvane tumorskim ekstraktima, te i pokušaj liječenja eksperimentalne leukemije presađivanjem krvotvornog tkiva. Poseban odjek u svijetu imala su istraživanja biogenih amina u mozgu i moždanoj tekućini (likvoru).

Zapaženi su bili i radovi suradnika Instituta na sintezi virusnog genoma izvan stanice. To su bili pionirski radovi danas toliko aktualne discipline genetskog inženjerstva.

U sasvim drugu domenu uspjeha, ali ne manje zapaženu, spadaju tehnološka dostignuća suradnika Instituta. Gledana u svjetskim razmjerima, ta su dostignuća (uz neke iznimke) bila po pravilu skromnijih razmjera. Takvo je gledanje, ipak, vrlo pogrešno: gradnja neutronske generatore, ciklotrona, uranskog postrojenja, uređaja za nuklearnu magnetsku rezonanciju, prvog analizatora s magnetskom memorijom i drugih uređaja bila je velik uspjeh, jer su ti uređaji, izrađeni vlastitim snagama i naporima, bili tik iza svjetske tehnološke razine. Danas je razmak između naše i svjetske tehnologije vjerojatno veći nego šezdesetih godina: podsjetimo se da je prvi analizator s feritnom memorijom izgrađen u nas samo dvije-tri godine iza svjetskog prototipa i to dobrim dijelom iz domaćih komponenti. Gdje je danas naša tehnologija računarskih elemenata i sistema u odnosu na svjetsku?

Pokušajmo, na osnovi tridesetogodišnjeg iskustva i bilance, nešto određenije reći o razvojnem putu Instituta »Ruđer Bošković«. Uz pomoć brojčanih pokazatelja u godišnjim izvještajima, možemo analizi-

rati kako se, posebno u proteklih desetak godina, kretao kadar, a kako se kretao rad na znanstvenim i tehnološkim istraživanjima u Institutu. Bitan je u tom pogledu trend u ovih desetak godina, kad ni veličina ni struktura Instituta ne pokazuju neke veće promjene.

Broj radnika u znanstvenom sektoru u tom se razdoblju kretao oko 500, od čega je oko 150 bilo doktora znanosti i po stotinjak magistara i inženjera. Zanimljiv podatak jest i srednja dob istraživača: od 1971. do 1979. ona je porasla sa 33.5 na 37.5 godina. I unatoč nedovoljnoj fluktuaciji kadra, mladi su ljudi, dakle, na Institut dolazili (broj inženjera bio je otprilike stalan unatoč tome što je 25-30 suradnika godišnje magistriralo), a suradnici s višim akademskim zvanjima odlazili. Iz Instituta je do danas na fakultete prešlo više od 100 istraživača, a u privredu oko 120 istraživača.

Znanstvena produktivnost izražena brojem publikacija s recenzijom u časopisima i knjigama bila je iznenađujuće stabilna, sa oko 250 naslova godišnje; dodamo li tome stotinjak publikacija godišnje izdanih u zbornicima, dolazi se do brojke od približno jedne publikacije godišnje po suradniku, što je solidan prosjek.

Broj doktorskih radova (15-20 godišnje) i magistarskih radova (oko 25), premda značajan, donekle je ispod mogućnosti institutskog kadrovskog potencijala. No, činjenica da je ionako skroman broj diplomskih radova u ovih 5 godina prepolovljen (od oko 30 na oko 15 godišnje) može ukazivati na nedovoljnu suradnju sa Sveučilištem.

Oko 100 suradnika Instituta boravilo je na poslijedoktorskim specijalizacijama u zemljama Zapadne i Istočne Evrope i SAD, na trošak tih zemalja (odnosno njihovih i međunarodnih organizacija). I pored veoma povoljnih uvjeta, koji su često nuđeni tim suradnicima, samo se mali dio njih nije vratio u zemlju; treba zato reći da se tim specijalizacijama naša znanstvena sredina u cjelini znatno obogatila i unaprijedila.

Usmjerena i primijenjena istraživanja druga su komponenta djelatnosti Instituta »Ruđer Bošković«. Institut nije i ne može biti produžena grana privrednih organizacija za izradu prototipova zato i njegov udio u suradnji s privredom treba tražiti u drugoj vrsti doprinosa. Institut je partner koji se, oslanjajući se na svoj kadrovski potencijal, može prihvatiti i složenih problema, čije rješenje zahtijeva širi pristup. U tom pogledu Institut bilježi pozitivan trend porasta kako kvantitete tako i kvalitete suradnje s privredom, zdravstvom i JNA. Danas se neposrednom razmje-



nom rada s poslovnim partnerima Instituta ostvaruje oko trećina prihoda Instituta. Premda taj iznos, u cjelini, nije malen i ukazuje na uspješnost nastojanja suradnika Instituta, ipak se stječe dojam da bi znanstveni kapacitet Instituta mogao biti bolje iskorišten.

Od značajnih uspjeha na tom području treba svakako istaći dugogodišnju plodnu suradnju s kemijskom industrijom, u prvom redu s tvornicom »Pliva«. Ta suradnja, započeta 1967, dala je oko 20 patenata, a desetak suradnika »Plive« na Institutu je steklo zvanje magistra i doktora znanosti.

Dugogodišnja suradnja s JNA na izradi osobnih dozimetara zračenja i drugim područjima također je jedna od ključnih primijenjeno-tehnoloških djelatnosti Instituta. Zaštita čovjekova okoliša i izrada kompleksnih ekoloških studija, premda novijeg datuma, sve su uključeni u nastojanja suradnika Instituta, što se vidi na primjeru izrade ekološke studije Riječkog zaljeva.

Udjelu Instituta »Ruđer Bošković« u razvoju nuklearne energetike u Hrvatskoj i Jugoslaviji pripada posebno mjesto. Orijentacija Instituta na nuklearnu energetiku bila je dominantna pedesetih i ranih četrdesetih godina. Danas je, u skladu s energetsom politikom zemlje, toj orijentaciji dan realniji okvir.

Spomenica o jubileju nije pravo mjesto za diskusiju o toj politici, ali možemo reći da su nastojanja Instituta išla u smjeru uklapanja u nove tokove. U tim nastojanjima inicijative suradnika Instituta usmjerene su prema nizu problema u vezi s izgradnjom naše prve nuklearne elektrane u Krškom, posebno na izradi ocjene završnog izvještaja o sigurnosti elektrane, kao i na terenska i laboratorijska istraživanja za izradu dokumentacije potrebne za određivanje lokacija drugih nuklearnih elektrana u Hrvatskoj.

Određeni oblici samoupravljanja su od ranih godina bili prisutni u ustrojstvu Instituta, a snažan samoupravni život razvio se pogotovo od 1973, kad je samoupravnim sporazumom o udruživanju utvrđena solidarna odgovornost osnovnih organizacija i provedena raspodjela sredstava, prava i obaveza na osnovne organizacije. Danas samoupravni sistem prožima cjelokupni život i djelatnost Instituta i njegova je okosnica.

Institut je za svoj rad i značajan doprinos razvoju znanosti u našoj zemlji odlikovan Ordenom rada s crvenom zastavom; suradnici Instituta za svoj su rad primili mnoga priznanja, pri čemu posebno ističemo 37 odlikovanja, 2 republičke nagrade za životno djelo, 43 republičke nagrade »Ruđer Bošković«, 21 republičku nagradu »Nikola Tesla«, 1 republičku nagradu »Boris Kidrič«, 5 nagrada grada Zagreba i 7 nagrada »7 sekretara SKOJ-a«. Institut je za svoju aktivnost i suradnju s ostalim radnim organizacijama primio više od 40 priznanja; vrijedno je spomenuti i diplomu samoupravljanja koju je Institutu 1978. dodijelilo Vijeće sindikata Hrvatske.

Prikaz rada Instituta dan u ovoj spomenici neće slijediti organizacijsku strukturu Instituta. On će, polazeći od najjednostavnijih prema složenim sistemima, sažeto prikazati glavne linije istraživanja na Institutu. Početak prikaza bit će, dakle, posvećen istraživanju prirodnih sila, strukture i transformacije materije od subatomske čestice i polja sila preko atomske jezgre i atomskih i molekularnih istraživanja do istraživanja složenih sustava u fizičko-kemijskim i biokemijskim istraživanjima. Drugi dio prikaza ide još korak dalje, tretirajući žive sustave i biomedicinska istraživanja. Iduća dva dijela orijentirana su prema primjeni: ona tretiraju ekološka istraživanja i tehnološka dostignuća koja su suradnici Instituta postigli vlastitom inventivnošću ili prijenosom suvremene tehnologije. Tim širokim rasponom problema koji smo upravo naveli Institut »Ruđer Bošković« bavio se u proteklih 30 godina.



Za postignute rezultate u području znanstvenih istraživanja Institut je 1970. godine odlikovan Ordenom rada sa crvenom zastavom.



U parku Instituta nalaze se spomenici Josipa Rudjera Boškovića (1711-1787) i Nikole Tesle (1856-1943), rad Ivana Meštrovića.



# 1. ISTRAŽIVANJE PRIRODNIH SILA, STRUKTURE I TRANSFORMACIJE MATERIJE

## 1.1. Polja i čestice

### 1.1.1. Uvod

Istraživanja u fizici elementarnih čestica na fronti su neprekidnog nastojanja čovjekova da što dublje prođe u tajne prirode, nastojanja da razotkrije nove, još nepoznate zakonitosti ponašanja materije koja se u subatomske struktura očituje u nizu karakterističnih stanja koja, ponajviše iz povijesnih razloga, nazivamo elementarnim česticama. Želja da se složeni pojavni svijet svede na što manje elementarnih struktura materije i zakonitosti njihova ponašanja i pretvorbe okosnica je toga nastojanja. Razvoj znanosti nije u svakoj povijesnoj etapi nužno sukladan toj želji. Tako se obitelj »elementarnih čestica« sa svoja tri prvotna člana - elektrona, protona i neutrona - povećala u proteklih pedeset godina na stotinjak čestica. No, poimanje elementarnosti sad obuhvaća dublju hijerarhijsku razinu strukture materije - hipotetičke tvorevine kao što su kvarkovi i partoni.

Nastojanje da se sve sile u prirodi svedu na zajedničku, jedinstvenu, silu trajna je značajka oblikovanja naše prirodnoznanstvene slike svijeta. Ujedinjavanje slabih i elektromagnetskih međudjelovanja jedan je od novijih uspjeha u tom nastojanju.

Prodor u nepoznato - osnovna značajka svih znanstvenih istraživanja - izrazit je u fizici polja i čestica, gdje je gotovo uvijek sve moguće i sve nepoznato. I to je jedan od razloga velikoga krivudanja u razvoju te discipline, tako da se svako nekoliko godina pojavi po neka nova teorija ili nova koncepcija. Njezin se vrlo burni razvoj, ipak, u konačnici očituje u obliku razmjerno skromnih, ali *postojanih* doprinosa ukupnom prodoru u mikrosvijet.

### 1.1.2. Doprinos naših istraživača fizici elementarnih čestica

U Institutu »Ruđer Bošković«, od njegova osnutka do danas, radi znatan broj teorijskih fizičara na širem spektru istraživanja na području fizike elementarnih čestica ili visokoenergetske nuklearne fizike - kako je ta disciplina u nas povijesno bila nazvana. Sa dvadesetak stalnih i nekoliko vanjskih suradnika, Institut »Ruđer Bošković« ima značajnu koncentraciju znanstvenoga kadra za to područje teorijske fizike.

Iz mnogih znanstvenih radova izdvojiti ćemo samo one koji su originalnošću ideja ili rješenja pobudili pažnju znanstvene javnosti u svijetu, ušavši među standardne referencije u stručnim časopisima, revijalnim prikazima i udžbenicima. Što se tiče ranijih godina postojanja Instituta, spomenimo radove u kojima su nađena stroga rješenja jednodimenzionalne kvantne elektrodinamike i općenito postavljen problem elektromagnetske strukture čestica sa spinom. U jednom od zapaženijih znanstvenih radova s tog područja prvi se put pojavljuje ideja o funkcijama koje opisuju unutarnju strukturu elementarnih čestica. Predloženo je da se postulirana ili dokazana svojstva analitičnosti upotrijebe kao temelj za dinamičku teoriju tih funkcija. Ta je ideja poslije općenito prihvaćena i razrađena i danas je jedan od najpo-desnijih modela za proučavanje unutarnje strukture čestica.

Između znanstvenih radova iz srednjega razdoblja postojanja Instituta »Ruđer Bošković« svakako treba izdvojiti one koji razmatraju probleme raspršenja elementarnih čestica u okviru teorije kompleksnog

momenta vrtnje i općenitu strukturu amplitude raspršenja na singularnim potencijalima. Nađeni su asimptotski oblici ponašanja amplituda za vrlo singularne potencijale, te asimptotsko ponašanje tzv. Jostovih funkcija u ravni kompleksnog momenta vrtnje.

U proteklih 10-15 godina postojanja Instituta, kad se kadrovska struktura tako upotpunila da pokriva i aktivno prati gotovo sve smjerove razvoja fizike elementarnih čestica, uključujući i fiziku srednjih energija, suradnici Instituta objavili su niz zapaženih radova, među kojima su neki od njih potpuno pionirske naravi i, kao takvi, navode se u standardnim udžbenicima te grane fizike u svijetu.

U teoriji raspršenja K-mezona na nukleonima izučavana je prvi put tzv. disperziona relacija za raspršenje prema naprijed, a originalnom metodom inverzne amplitude dobivene su prve procjene za konstante vezanja kaon-nukleon-hiperon. Model strukturnih funkcija nukleona predložen i numerički razrađen u Institutu »Ruđer Bošković« danas eksperimentalni fizičari vrlo često upotrebljavaju za analiziranje elastičnoga raspršenja elektrona na protonu.

Na vrlo dinamičnom području tvorbe elementarnih čestica na visokim energijama, zapaženi su prvi radovi na uključivanju tzv. izospina u procesima s koherentnom produkcijom  $\pi$  – mezona, te na ispitivanju utjecaja kvantne statistike na raspodjelu nabijenih čestica u konačnom stanju. Također je vrlo značajan rad na modelu višestrukog raspršenja koji je omogućio opis raspršenja pod malim i velikim kutovima na visokim energijama.

Posebno valja izdvojiti i vrlo uspješna istraživanja s područja nesačuvanja parnosti u sustavu nukleon-nukleon i istraživanja tzv. neleptonskih raspada u okviru ujedinjene teorije elektromagnetskih i slabih međudjelovanja. Radovi na nesačuvanju parnosti značajno su odjeknuli u istraživanjima narušenja paritetne simetrije u fizici čestica.

Ukupni opus od nekoliko stotina znanstvenih radova s područja visokoenergetske fizike pridonio je formiranju znanstvene fizionomije Instituta »Ruđer Bošković« i njegovoj svjetskoj afirmaciji.

## 1.2. Atomska jezgra: struktura i sudari

### 1.2.1. Uvod

Nuklearna fizika proučava probleme, procese i pojave povezane s atomskom jezgrom. Kao i druge znanstvene discipline, i nuklearna fizika napreduje u dva uzajamno ovisna smjera - teorijskom i eksperimentalnom. Ali, unatoč zajedničkom predmetu istraživanja i jakoj međuovisnosti, ta se dva toka istraživanja razlikuju po tehnici rada, a često crpu i motivaciju i ideje iz sasvim različitih izvora.

Dva osnovna problema nuklearne fizike jesu problem sila između nukleona i problem strukture i dinamike mnogočestičnog sustava atomske jezgre. Teorijski gledano, rješenje problema nuklearnih sila mora se zasnivati na spoznajama fizike elementarnih čestica i uvelike ovisi o dosegnutoj razini tih spoznaja. Što se pak strukture i dinamike jezgre tiče, veza s teorijom drugih mnogočestičnih sustava - atoma, molekula i čvrstog stanja - često se pokazala presudnom za formiranje pojmova i teorijskih postupaka

podesnih za objašnjenje i opis nuklearne fenomenologije. Povijesni primjeri koji to potkrepljuju jesu razvoj teorije ljuskaste strukture atomske jezgre i pojmovi kolektivnih i kvazičestičnih stanja.

Na Institutu »Ruđer Bošković« naporedo su se razvijala teorijska i eksperimentalna istraživanja na području nuklearne fizike, pa će ona i ovdje biti zasebno prikazana.

### 1.2.2. Teorijska nuklearna fizika

U teorijskim istraživanjima jezgre na Institutu »Ruđer Bošković« središnje mjesto zauzimaju problemi strukture atomske jezgre. Isprva su prevladavala istraživanja u okviru kolektivnog modela jezgre Bohra i Mottelsona. Otkriće pravila intenziteta, asimptotskih i K-izbornih pravila pri radioaktivnom beta-raspadu i gama-raspadu jako deformiranih jez-



gara, koja su omogućila uspješno objašnjenje eksperimentalnih nalaza u okviru jedinstvenog fenomenološkog modela, najzačajniji je rezultat tih istraživanja. Ta se izborna pravila pojavljuju još i danas u standardnim udžbenicima nuklearne fizike.

Pažnja je zatim bila posvećena opisu statičkih i dinamičkih svojstava tzv. sferičnih jezgara u kojih su, uz kolektivni način pobuđenja, i čestična pobuđenja jako izražena. Za opis takvih jezgara izgrađen je polumikroskopski model u kojem su višečestični grozdovi povezani s kolektivnim vibracijskim stanjima. Taj model i njegova kasnija poopćenja vode podjednako računa i o energijama i o električkim i magnetskim svojstvima pobuđenih stanja jezgara. Model je pogodan za fenomenološku analizu široke klase nuklearnih spektroskopskih podataka, i uspješno se upotrebljava u tu svrhu.

Na Institutu su rješavani i drugi teorijski problemi nuklearne strukture. Tako je rad na kvazičestičnoj teoriji jezgre urodio interdisciplinarnim doprinosom teoriji elektronske strukture molekula. Također je nađeno jedno egzaktno rješenje kvantnomehaničkog problema triju tijela. Nađeni su tzv. nuklearni Wardovi identiteti, a radi se i na mikroskopskom opisu jezgre.

Paralelno s teorijskim istraživanjem nuklearne strukture radilo se i na problemima nuklearnog  $\gamma$ -raspada i  $\beta$ -raspada. Jezgra se ovdje javlja kao prikladan objekt za proučavanje jedne od četiri osnovne sile u prirodi - tzv. slabog međudjelovanja (ostale su: gravitacija, elektromagnetsko i tzv. jako međudjelovanje). Iz karakteristika beta-spektara nastojale su se dobiti informacije o obliku slabog vezanja. Nakon pojave većeg broja modela slabog međudjelovanja pokušalo se, na temelju mjerivih efekata, razlučiti fizikalno prihvatljive modele od fizikalno neprihvatljivih. Stoga su vršena pionirska istraživanja u potrazi za takvim procesima u jezgri na koje bi slabo međudjelovanje moglo utjecati. Tehnikama računanja razvijenim u teoriji elementarnih čestica proračunavane su karakteristike  $\beta$ -raspada, kutnih korelacija i tzv. kružne polarizacije  $\gamma$ -zraka, što je potaklo nova eksperimentalna istraživanja kako bi se našli relevantni fini efekti inducirani nesačuvanjem parnosti u slabom međudjelovanju.

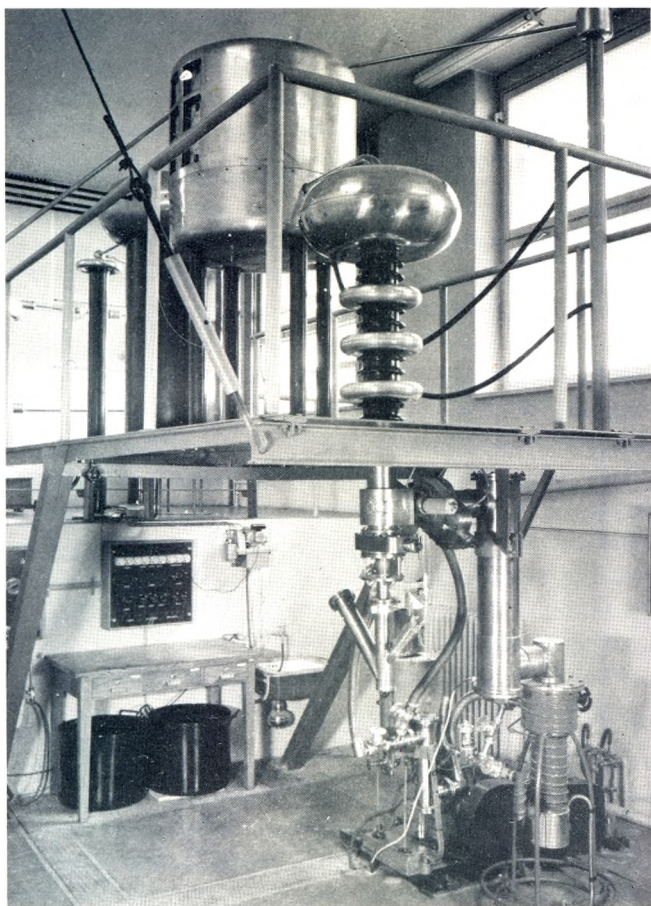
Naporedo s eksperimentalnim istraživanjima višekvantnih događaja kvantitativno je opisan niz procesa višeg reda, kao što su zakočno zračenje pri uhvatu elektrona i stvaranja para elektron-pozitron pri  $\alpha$ -raspadu, čime je učinjen doprinos poznavanju međudjelovanja jezgre s elektronsko-pozitronskim poljem.

### 1.2.3. Eksperimentalna istraživanja

Eksperimentalna nuklearna fizika pokusima nastoji objasniti problem nuklearnih sila, strukturu atomske jezgre i tok nuklearnih reakcija. Studij nuklearnih sila usavršava poznavanje međudjelovanja jezgrenih konstituenata: protona i neutrona. Problematika nuklearne strukture određuje kako su ti konstituenti organizirani u pojedinim jezgrama. Istraživanjem toka nuklearnih reakcija stvara se slika o mehanizmima pretvorbi kojima iz jedne jezgre nastaje druga. Eksperimentalna nuklearna fizika Instituta »Ruder Bošković« upuštala se u sve te probleme i u rješavanju mnogih od njih postigla je zapažene uspjehe. No, uspješnost rada na tom području uvelike ovisi o opremi, što znači o iznosu investicija i njihovu racionalnom trošenju.

Od nuklearno-fizičke opreme ranijih se godina na Institutu uglavnom investiralo u dva velika stroja: ciklotron i neutronske generator, oba izgrađena vlastitim naporima. Veći dio prateće instrumentacije uz te strojeve, kao i druge instrumentacije, izgrađen je u suradnji a tadašnjim elektroničkim odjelom Instituta. Zbog mnogih razloga, među kojima su i promjene na svjetskom tržištu instrumentacije, od sredine šezdesetih godina prilike se mijenjaju, i eksperimentalni se fizičari sve više orijentiraju na nabavku opreme. Kako, paralelno s time, opada i iznos investicija u opremu, razina eksperimentalne opremljenosti Instituta u nuklearnoj fizici također postepeno opada, dok sedamdesetih godina nije spala na alarmantno nizak stupanj. Današnje pak stanje opremljenosti Instituta nuklearnofizičkom opremom ni u kojem pogledu ne zadovoljava, tako da se većina eksperimentalnih radova obavlja u stranim centrima u okviru međunarodne suradnje. Posebno se osjeća nedostatak suvremenog akceleratora nuklearnih čestica. Nabavka novoga neutronske generatora 1971. nije mogla omogućiti znanstvene prodore u nova područja istraživanja.

*Neutronska fizika.* Središnje mjesto u razvoju eksperimentalne nuklearne fizike SRH pripada neutronske generatoru Instituta »Ruder Bošković«. To dobro ilustrira kadrovski potencijal odgojen na njemu: 20 doktorata i 18 magistarskih radova načinjeno je zahvaljujući upotrebi toga uređaja. Istraživanja na neutronske generatoru urodila su sa više od stotinu znanstvenih publikacija, objavljenih najčešće u svjetski priznatim časopisima. Generator je izgrađen



Akcelerator 200 kV tipa Cockcroft-Walton izgrađen u Institutu »Ruđer Bošković«. Ovaj je akcelerator korišten kao generator neutrona energije 2.7 i 14 MeV

vlastitim snagama u skladu s tehnološkim mogućnostima naše zemlje. Najznačajniji je kooperant bio »Rade Končar«.

Spominjemo najosnovnije tehničke podatke o tom našem prvom nuklearnom stroju. Cockcroft-Waltonovim akceleratorom proizvedeni su deuteroni s energijom od 200 keV i strujom do 2 mA. Neutroni s energijom 14.4 MeV dobiveni su zatim reakcijom  $d+T \rightarrow n + \alpha + 17.6 \text{ MeV}$ .

Otkako je pušten u rad neutronska generator 1956, pred zagrebačkim se nuklearnim fizičarima otvorilo široko polje istraživanja nuklearnih reakcija izazvanih neutronima. Sretna je okolnost bila što se povratak generacije mladih nuklearnih fizičara sa školovanja u inozemstvu podudarao s puštanjem u rad tog akceleratora. Uz to, razvija se i domaća detekcijska tehnika. Za izradu prvih detektora upotrebljava se tehnika tada vrlo suvremenih plinskih brojača i scintilatora. Složeni sistem, nazvan teleskopskim brojačem, istodobno mjeri energiju  $E$  nabijenog produkta reakcije i specifični gubitak toga produkta u tankom

brojaču debljine  $dx$ ,  $dE/dx$ . Iz simultanog poznavanja veličina  $E$  i  $dE/dx$  moguće je identificirati vrstu reakcijskog produkta (npr. proton, deutron,  $\alpha$ -čestica i slično).

Vrlo istaknuto mjesto u svijetu postiže se mjerenjem rascjepa deuteron neutronom. Promatranjem karakterističnog vrha u spektru protona proizvedenih rascjepom prvi put je opaženo međudjelovanje dvaju neutrona u konačnom stanju. Dobro poznati laboratorij u Los Alamosu nije, na primjer, vidio taj vrh u svom mjerenju. Kasnije se analizom prvi put određuje parametar međudjelovanja dvaju neutrona, tzv. dužina raspršenja  $a_{nn}$ . Taj rad postaje okosnica formiranja interesa za nuklearne sustave s malim brojem nukleona, probleme nuklearnih sila i probleme triju tijela. Zanimanje nuklearnih fizičara Instituta »Ruđer Bošković« za te probleme održavalo se dugo vremena, a nekoliko fizičara s Instituta na tom je području steklo značajan ugled.

Opremljeni kvalitetnim neutronska izvorom i sa dvije komplementarne detekcijske tehnike (teleskop i nuklearne emulzije), nuklearni fizičari Instituta opsežno proučavaju vrste nuklearnih reakcija induciranih neutronima. Fundamentalna vrijednost tih radova jest u razjašnjavanju mehanizma reakcije i u doprinosu poznavanju strukture jezgara. Problematika sistema s malim brojem nukleona pokazuje se kao sretna kombinacija jednostavnosti mjerenog sistema i smanjenih zahtjeva za energetska rezolucijom (energetski nivoi lakih jezgara jače su razmaknuti).

Tako su prva mjerenja reakcija  $(n,p)$  izvršena na jezgri  $^{32}\text{S}$  tehnikom nuklearnih emulzija. Eksperimentalni rezultati ukazuju na statistički tok za ovaj tip reakcija, a proučavanje reakcija  $(n,d)$  otkrilo je da je njihov mehanizam direktan. Određivani su i spektroskopski faktori, to jest geometrijski preklopi valnih funkcija početne i konačne jezgre. U reakcijama  $(n,t)$  također se uočava važna uloga direktnog mehanizma.

Strukturna razmatranja  $(n,\alpha)$  reakcija mnogo su zamršenija. Na temelju njihova proučavanja, uz mehanizam procesa, zaključivalo se i o čestičnim stanjima u koja ulazi upadni nukleon. Mjerenje  $(n,d)$ ,  $(n,t)$  i  $(n,\alpha)$  reakcija vršena su teleskopskom tehnikom, pri čemu su bili upotrebljavani plinski ili poluvodički tanki detektori.

Radovi fizičara s Instituta »Ruđer Bošković« opovrgavaju 1975. prihvaćenu sliku toka odvijanja reakcija  $(n,2n)$ . Dotle se smatralo da se reakcija odvija procesom stvaranja složene jezgre. Ti su radovi pak



pokazali znatnu prisutnost predravnotežne komponente pri emisiji neutrona.

U studiju procesa sa više fragmenata u konačnom stanju, metoda nuklearnih emulzija daje njihovu cjelokupnu sliku, a mjerenja su kinematički potpuna. Upotrebom emulzija dobiveni su rezultati za reakcije sa tri ili četiri čestice u konačnom stanju i proučavani njihovi mehanizmi. Nuklearne emulzije povezane s neutronske generatorom zanimljivo su područje za buduća istraživanja dostupna i manje bogatim sredinama.

*Istraživanje uz pomoć međunarodne suradnje.* Brzi razvoj nuklearne instrumentacije sedamdesetih godina, posebno razvoj akceleratora, postepeno nadrađa mogućnosti rada na domaćim mašinama. Sedamdesetih godina svjetski je trend koncentriranje eksperimentalne djelatnosti u nuklearnoj fizici na sve manje snažnih, dobro opremljenih, centara. Nuklearni fizičari Instituta »Ruđer Bošković« borave u takvim centrima i daju originalne doprinose. Evo nekoliko karakterističnih primjera.

Ako upadni projektil izbaci dio mete s energijom sličnom kao da se od njega elastično raspršio, dobiva se mehanizam koji nazivamo kvazislobodnim raspršenjem. Mehanizam je najprije uočen na energijama oko 100 MeV i pokazao se važnom metodom istraživanja. Naši fizičari među prvima eksperimentalno dokazuju da taj efekt postoji i na neočekivano niskim energijama.

U procesima kvazislobodnog raspršenja nije se mogao detaljno objasniti oblik spektra emitiranih čestica. Zahvaljujući radu jednog fizičara s Instituta »Ruđer Bošković«, teorijski se model fenomenološki mijenja: jednostavnim objašnjenjem da događaji iz unutrašnjosti vezanog stanja ne sudjeluju u kvazislobodnom raspršenju dobiva se tzv. modificirana impulsna aproksimacija (MSIA), čime je postignuto značajno poboljšanje u proračunu spektra. Ta se aproksimacija još i danas upotrebljava.

Jedan od naših istraživača poopćuje model kvazislobodnog raspršenja time što dopušta projektilu da na dobro definiranoj nakupini nukleona unutar mete izvede i nuklearnu reakciju, a ne samo da tu nakupinu izbaci. Ostatak mete ne sudjeluje u procesu; odatle ime *kvazislobodna reakcija* (QFR). Kvazislobodne reakcije još se intenzivno istražuju.

Fizika teških iona danas je jedan od udarnih pravaca nuklearne fizike. Naši su istraživači praktički istodobno s jednom grupom iz SAD otkrili novu grupu tzv. molekularnih rezonancija. Oni su također neovisno pridonijeli otkrivanju fragmentacije tih rezonancija. Fenomenološkim razmatranjima predvidjeli

su nove rezonancije povezujući njihovu prisutnost u danom sustavu s gustoćom stanja. Značajan je uspjeh naših fizičara što su neka od tih predviđanja sami i eksperimentalno potvrdili!

Jedan od naših istraživača pridonosi otkriću egzotične strukture u  $^8\text{Be}$ . Pokazano je u kinematički kompletnom eksperimentu da u  $^8\text{Be}$  postoje stanja koja se dadu opisati u obliku  $\alpha - \alpha^*$ , tj. kao konglomerat dviju jezgara  $^4\text{He}$ , od kojih je jedna u osnovnom a druga u pobuđenom stanju.

Nuklearna fizika srednjih energija još je jedan alternativni moderni pravac razvoja. Istražuje se atomska jezgra s pomoću protona više energije koji dublje prodiru u jezgru ili egzotičnim projektilima  $\pi$ ,  $\mu$  i K-mezonima. Fizičari Instituta »Ruđer Bošković« pridonose studiju procesa rascjepa, pionske produkcije i pionske apsorpcije. U studiju pionske apsorpcije nađen je iznenađujuća indikacija za mehanizam apsorpcije na jednom nukleonu, a pri studiju apsorpcije na dva nukleona određivale su se konfiguracije favorizirane u apsorpciji.

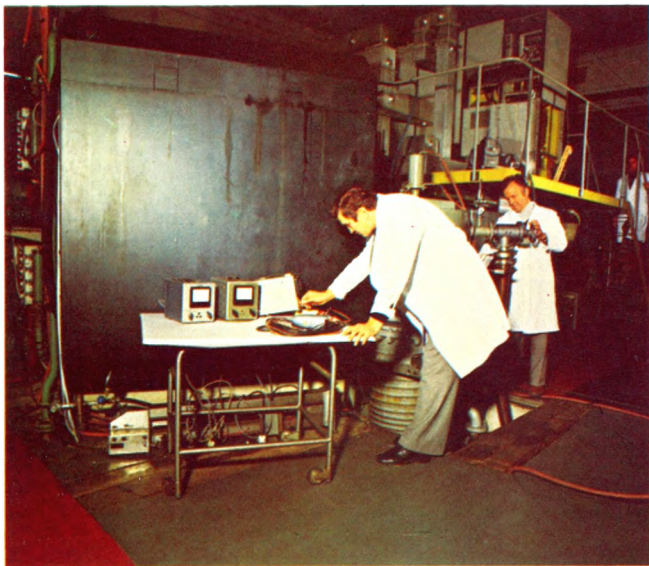
*Slabe i elektromagnetske interakcije.* U Institutu »Ruđer Bošković« proučavanje slabih i elektromagnetskih interakcija razvijalo se prilično nezavisno od istraživanja nuklearnih reakcija.

Prvi radovi odražavaju tadašnje najvažnije pravce mjerenja u svijetu. Radilo se na nuklearnom rezonantnom raspršenju i korelacijama između dvije uzastopno emitirane gama zrake.

Orijentacijom na tzv. dvokvantne raspade i slične egzotične procese bilo je moguće postići vrhunsku kvalitetu u svjetskim razmjerima. Usko povezano s izborom područja, razvijene su mjerne metode velike preciznosti, podesne za istraživanje malih efekata.

Posebno je zapaženo simultano mjerenje kutne i energetske raspodjele elektron-gama-raspada  $^{137}\text{Be}$ . Izmjerena energetska raspodjela bila je konačan dokaz dvokvantnosti prijelaza. Slični se efekti ( $\gamma\text{-}\gamma$ ,  $e\text{-}e$ ,  $\alpha e^+e^-$  itd.) još istražuju uz značajnu međunarodnu suradnju.

*Ciklotron.* Izgradnja klasičnog ciklotrona na Institutu »Ruđer Bošković« počela je 1954, a završena 1962. Snažni unutrašnji snop, međutim, dobiva se tek sedamdesetih godina. Taj za naše prilike vrlo kompleksni uređaj proizveden je gotovo sav u našoj sredini. Stručnjaci s Instituta »Ruđer Bošković« projektirali su, konstruirali i montirali ciklotron. Važan kooperant opet je »Rade Končar«.



Ciklotronska hala u Institutu »Ruder Bošković« s pogledom na dio ciklotrona. Ovaj akcelerator ubrza čestice teškog vodika - deuterija - do energije od 16 Megaelektronvolti

Oslanjanje samo na vlastite snage imalo je, međutim, za posljedicu prilično zakašnjenje u izgradnji ciklotrona, zbog toga, kao i zbog odsutnosti vanjskoga snopa, kao stroj za fundamentalna istraživanja ciklotron nije dao očekivanih rezultata. Međutim, i pored toga gradnja ciklotrona je bila od velikog značaja kako za Institut tako i za prateću industriju. Ciklotron je bio prvi veliki znanstveni stroj izgrađen u našoj zemlji a prateća industrija je preko te gradnje savladala tehnologiju, koju je uspješno primijenila u nizu drugih radova. Osim toga, neočekivano velika je bila praktična primjena ciklotrona za što se i danas ponajviše upotrebljava.

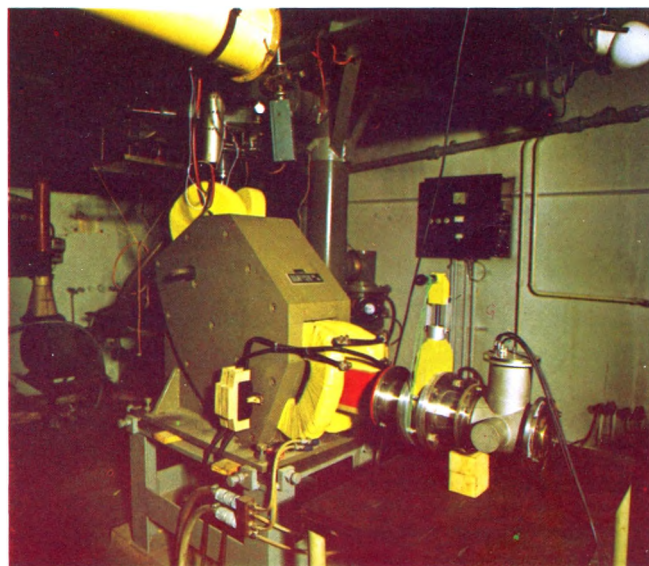
Ciklotronom na Institutu »Ruder Bošković« mogu se ubrzati jezgre teškog vodika, deuterija, do 16 MeV, i alfa-čestice, jezgre helija, do 32 MeV. Kako se frekvencija može mijenjati kontinuirano od 8.9 do 11.8 M Hz, moguća je i odgovarajuća kontinuirana promjena energije.

Upornim radom ciklotronske ekipe uklonjeni su kvarovi koji su se nakon puštanja u pogon pojavili na visokofrekventnom sistemu i zakretnom transformatoru, tako da su danas performance ciklotrona i njegova iskorištenost dosegle standardne veličine. Za ilustraciju može poslužiti podatak da je šezdesetih godina maksimalna struja bila oko  $100 \mu\text{A}$ , uz malu iskorištenost. Primjenom rotacione mete i poboljšavanjem rada stroja danas se dobivaju struje od oko  $400 \mu\text{A}$ . Usporedo s kvalitetom rada, rasla je i proizvodnja izotopa, koja se kretala od, na primjer, oko 150 mCi godišnje u 1972. do oko 2000 mCi 1979.

Iz izgradnje zagrebačkog ciklotrona izvučene su mnoge pouke, ali spomenimo samo jednu. Nuklearni stroj, kojem je bila, po planu, namijenjena uloga u fundamentalnim istraživanjima, danas radioaktivnim izotopima opskrbljuje bolnice u četiri republike. Na primjenu tih izotopa nitko nije ni pomišljao kad se ciklotron gradio.

*Matematičko modeliranje, fenomenologija i računske metode.* Uz intenzivno eksperimentiranje javila se i potreba za dubljim poznavanjem i upotrebom teorijskih proračuna, kao i za brzim izvođenjem numeričkih operacija. Od grupe za kibernetiku, koja je radila u odjelu eksperimentalne fizike, došao je znatan poticaj općoj kompjuterizaciji u nas. Naši su stručnjaci objavili nekoliko, u svijetu zapaženih udžbenika za mikrokompjutere.

Značajno je unaprijeđeno poznavanje utjecaja Coulombskog međudjelovanja na sustav triju tijela. Originalan teorijski doprinos postignut je i na području slabih i elektromagnetskih međudjelovanja. Pri proučavanju problema fragmentacije rezonancija u teškoionskim reakcijama, naši eksperimentalni stručnjaci konstruiraju vlastiti fenomenološki model. Ovi primjeri nisu osamljeni i potvrđuju da jedinstvo eksperimentalnog i teorijskog pristupa ubrzava i produbljuje proces istraživanja.



Magnet ionskog implantatora na Institutu. Ovaj je implantator dobiven rekonstrukcijom ranije izgrađenog Cockcroft-Waltonova akceleratora



## 1.3. Atomska i molekularna istraživanja

### 1.3.1. Uvod

Dok su iskustvo s atomskom bombom i perspektive nuklearne energetike snažno potakli razvoj nuklearne fizike u poratnom periodu, a zahtjevi novih tehnologija ubrzali razvoj fizike čvrstog stanja, značajniji interes za atomska i molekularna istraživanja očitovao se tek šezdesetih godina, uvelike kao odziv na razvoj na drugim područjima znanosti i tehnologije. To su, prije svega, otkriće lasera kao izvanrednog novog sredstva za eksperimentiranje, te brz razvoj kompjutera, moćnog oruđa u rukama teoretičara. Povećan interes za ta istraživanja dijelom je i odraz naglog razvitka molekularne biologije, a u novije doba i radio-astronomije. Dodamo li tome još neraskidivu vezu između istraživanja strukture atoma i molekula i kemije u svim njenim aspektima, očito je da je ovo područje istraživanja vrlo podesno za široku lepezu interdisciplinarnih utjecaja.

Razvoj te znanstvene discipline nije zaobišao ni Institut »Ruđer Bošković«. Imamo i na tom području značajnih djelatnosti i značajnih uspjeha.

### 1.3.2. Naš doprinos teoriji atoma i molekula

U teoriji elektronske strukture molekula - koju je uobičajeno zvati i kvantna kemija - raspoznatljive su tri klase teorijskih pristupa. To su po sve većoj složenosti, empirijske, poluempirijske i *ab initio* metode. Empirijske metode prikladne su za opis nekih bitnih svojstava velikih organskih molekula nedostupnih drugim točnijim postupcima; poluempirijske metode upotrebljavaju se za potanji opis nešto manjih više-atomskih molekula; domet pouzdanih metoda *ab initio* ograničen je pak na sustave sa samo nekoliko težih atoma. Zaustavit ćemo se najprije na empirijskom pristupu u okviru kojeg je skupina kvantnih kemičara Instituta »Ruđer Bošković« postigla značajne uspjehe.

Vrijedne kemijske spoznaje mogu se postići jednostavnim kvantnokemijskim modelima. Razvoj jednog takvog modela, koji se koristi teorijom grafova, glavni je doprinos Institutske grupe kvantnih kemičara i afirmira je u svijetu, pa se naziv »Zagrebačka škola« ne jednom sreće u svjetskoj znanstvenoj literaturi. Termin se, u prvom redu, odnosi na istraživanja elektronske strukture konjugiranih molekula.

Ako se iskoristi činjenica da se strukturna formula molekule može predočiti grafom, kao i činjenica da je njemu pridružena matrica najjednostavniji elektronski operator energije, može se cijeli niz rezultata jednostavne molekularno-orbitalne teorije izraziti jezikom grafova.

Molekularna topologija, kao ukupnost informacija sadržanih u povezanosti atoma, vrlo je »siromašna« informacija jer su dobiveni rezultati uglavnom kvalitativne prirode. S druge strane, topološka je informacija primarna, pa su rezultati općenite prirode, dadu se uobličiti u pravila i zakone, jednostavne algoritme pomoću »olovke i papira«, i klasifikacijske sheme. Iako je i prije bilo sličnih pokušaja, tek je zagrebačka grupa takav način gledanja razvila do općenite i konzistentne kvalitativne teorije, pa od pojave prvih rezultata do danas tom se načinu pridružuje niz istraživača u svijetu.

Značajan doprinos razumijevanju kovalentne veze jest model varijabilne hibridizacije atomskih orbitala koji se temelji na kriteriju maksimalnog prekrivanja. Za razliku od prethodnog, on se primjenjuje i na zasićene ugljikovodike. Kako je sad informacija o molekuli bogatija od topološke i sadrži podatke o geometriji, rezultati su i kvalitativne i kvantitativne naravi. Model je zasnovan na intuitivnoj pretpostavci da je veza to jača što je prekrivanje susjednih orbitala veće. Prekrivanje se povećava slobodom u miješanju s- i p- karaktera hibrida, što dovodi do njihove odgovarajuće usmjerenosti u prostoru. Tako je opisana pojava savijenih veza i napetosti kod zasićenih ugljikovodika.

Slijedeći složenost postupaka, dolazimo do problema koji se tretiraju poluempirijskim i *ab initio* metodama. I ovdje je doprinos naših istraživača u svjetskoj znanstvenoj produkciji veoma zapažen. Spektar aktivnosti vrlo je širok i ide po metodama od uvođenja novih temeljnih funkcija do opisa sudara molekula, po proučavanim svojstvima od računa finih interakcija do ispitivanja biološke aktivnosti, a po ispitivanim sustavima od dvoatomskih do velikih organskih molekula, kompleksa i organskih polimera. U klasi teorija *ab initio*, kod kojih se numerički računaju svi integrali međudjelovanja elektron-elektron u okviru zadanog prostora jednočestičnih temeljnih funkcija, problem opisa elektronskih korelacija još je jedan od najznačajnijih otvorenih teorijskih problema. Značajan doprinos u rješavanju problema

elektronskih korelacija proizašao je i iz naše sredine zahvaljujući ponajviše multidisciplinarnoj strukturi Instituta. Naime, problem čestičnih korelacija sreće se i u opisu drugih mnogočestičnih sustava, a posebno je izražen u strukturi jezgre, gdje se rješava kvazičestičnim postupkom, izvorno smišljenim za opis supravodljivosti u metalima. Analizom kvazičestične teorije jezgre uočeno je da bi jednostavna kvazičestična transformacija mogla opisati i čestične korelacije u sistemima s odbojnim međudjelovanjem, kao što je, primjerice, elektronski oblak molekula. Odatle je proizašla metoda kompleksnih molekularnih orbitala kao specifično molekularna kvazičestična teorija. Tom se metodom može izračunati oko 2/3 korelacijske energije što se dobije standardnim postupcima, koji zahtijevaju nekoliko tisuća determinanata. Zapaženi rezultati postignuti su još u izboru funkcija baze i računanju integrala na više centara, te u razvoju metode grozdastog razvoja za opis elektronskih korelacija.

Problemu sudara atoma i molekula prišlo se u okviru teorije Regge-polova, te su razvijene odgovarajuće numeričke metode. Objašnjen je utjecaj rezonancije na ukupni i diferencijalni udarni presjek elastičnih atomskih raspršenja.

### 1.3.3. Spektroskopska fizičko-kemijska istraživanja

Spektroskopske tehnike glavno su oruđe u eksperimentalnim istraživanjima strukture atoma i molekula. Upotrebljavaju se u širokom rasponu od osnovnih istraživanja preko rutinske kemijske analize do kontrole tehnoloških procesa. Sa nekoliko takvih tehnika koriste se i naši istraživači u fizičko-kemijskim istraživanjima i u rješavanju problema molekularne biofizike.

Infracrvenom i ramanskom vibracijskom spektroskopskom tehnikom asignirani su spektri metil-živa(II)-halogenida i određeno polje sila za te molekule. Posebna je pozornost posvećena vezi ugljik-živa, te je istraživanje prošireno na sustave koji sadrže tetraedrijski raspoređene atome žive oko ugljika. Rezultati su zanimljivi za utvrđivanje najstabilnijih spojeva žive, radi neutraliziranja njezina djelovanja na okoliš. Za metil-živa(II)-halogenide određene su, eksperimentalno i teorijski, vrijednosti rotacijskih konstanti u osnovnom i pobuđenom stanju. Utvrđena je korelacija vibracijskih valnih brojeva i strukturnih parametara za ugljikovodike, te pronađena nova metoda za proračun vibracijskih izotopnih pomaka. Asignirane su vibracije nekih velikih konjugiranih molekula na temelju većeg broja deuteriranih i fluoriranih vrsta.

Metodom C-13 nuklearne magnetske rezonancije proučavan je utjecaj fluora u klasi velikih konjugiranih i njima srodnih izoelektronskih molekula, te je otkriveno dosad nepoznato međudjelovanje ugljik-fluor na velikim udaljenostima, kao i novi aspekti mehanizma sprege. Dalje, razmatranjem promjena C-13 kemijskih pomaka određene su konstante kompleksiranja za nekoliko sustava. Raznovrsnim tehnikama određena je, ili potvrđena, struktura niza novih organskih, organo-metalnih, kompleksnih i biološki aktivnih molekula.

Značajna višegodišnja istraživaška aktivnost bila je usmjerena i na proučavanje međumolekularnih i unutarmolekularnih sila kod organskih molekularnih kristala metodama ramanske i infracrvene spektroskopije. Istraživanja su obuhvaćala najprije samo snimanje spektara i njihovu interpretaciju na osnovi sličnosti s drugim molekulama i kristalnim rešetkama. Zadnjih desetak godina razvijeni su programi za računanje molekularnih i kristalnih vibracija. Tako se prišlo temeljitijem studiju dinamike molekularnih kristala, traženju analitičkog izraza za međumolekularni potencijal i istraživanju uvjeta za potpun opis dinamike kristala i molekule. Sve se više istraživanja usmjeravaju na fazne prijelaze u tim kristalima, a eksperimentalne se metode upotpunjavaju mjerenjima na niskim temperaturama.

Slaba opremljenost eksperimentalnim uređajima u Institutu »Ruđer Bošković« bila je ublažena širokom međunarodnom suradnjom, zahvaljujući kojoj su se naši fizičari mogli koristiti najmodernijim uređajima za dobivanje što potpunijih eksperimentalnih podataka.

U potpunom kinematičkom eksperimentu raspršenja elektrona na dvoatomskim molekulama prvi su put opažene i karakterizirane rezonancije koje potječu od dvoelektronske pobude inertnog dijela elektronskog oblaka u molekulama  $N_2$  i  $CO$ .

Fotoelektronska spektroskopija jest metoda kojom se mjere kinetičke energije elektrona izbijenih iz vanjskih elektronskih omotača molekula pomoću ultraljubičastog zračenja.

Iako je to razmjerno mlada spektroskopska disciplina, i na tom su području u nas postignuti značajniji rezultati. Na primjeru manjih molekula analizirana je fina struktura spektara i dobivene su informacije o geometriji i vibracijama molekularnih iona. Tako je na primjeru azidne kiseline prvi put opažena i objašnjena rotacijska struktura vrpce. Etilen je jedan od osnovnih spojeva u organskoj kemiji, ali je tek 1979. objašnjeno zašto neke vibracije težih izotopa



imaju više frekvencije nego one s lakšim izotopima. S obzirom na reakcije u višim slojevima atmosfere, elektronska struktura halogenim elementima supstituiranih metana (freona) posebno je zanimljiva. Na tim je molekulama proučavan utjecaj pobudnog zračenja na ionizacijske presjeke i dobiveni su rezultati upotrebljavani pri analizi spektara drugih molekula koje sadrže klor, fluor ili brom. Tako su na primjerima većih molekula proučavane interakcije slobodnih elektronskih parova ugrađenih atoma, u ovisnosti o položaju u prostoru i elektronskoj strukturi čitave molekule, a dobivena su iskustva dalje uspoređivana s rezultatima točnih kvantnokemijskih računa kod svih mogućih klorbenzena. Utjecaj geometrije molekula, a posebno njihove planarnosti, na elektronsku strukturu istraživao je na većim molekulama, a usporedno su vršeni i semiempirijski računi elektronske strukture. Posebno su važni prvi uspjesi snimanja fotoelektronskih spektara manjih aminokiselina - osnovnih građevnih jedinica bjelancevina - te analiza spektara i elektronske strukture nekih biološki aktivnih molekula.

Još od 1959. kad je na Institutu nabavljen spektrometar masa MS-6 domaće proizvodnje (Institut »Jozef Stefan« - Ljubljana) na Institutu »Ruđer Bošković« se, a sada na modernijem instrumentu, kontinuirano obavljaju znanstvena istraživanja na području spektrometrije masa.

### 1.3.4. Fizika ioniziranih plinova i atomska istraživanja

Električni izboji u plinovima te snopovi nabijenih čestica i fotona omogućuju izučavanje pobuđenih stanja atoma i molekula, međusobnog djelovanja tih čestica, te studij pojava u agregatnom stanju plazme, kao i međudjelovanje plazme s kondenziranom fazom.

Od atomskih sudarnih procesa ispitivana je pobuda atoma helija brzim protonima i deutronima. Utvrđena je pobuda tripletnih stanja helija koja je mogla nastati samo neradijacijskim prijelazima. Posebna je pažnja posvećena prijenosu energije sudarima pobuđenih atoma i jednostavnih molekula.

Istražena su svojstva jakostrujnih kapilarnih izboja, uz primjenu nove metode određivanja kinetičkog tlaka, sastava, temperature i emisivnosti plazme. Metoda primijenjena na A1-0 plazmu temelji se na eksperimentalnom određivanju intenziteta kontinuiranog zračenja i brzine strujanja plazme, te rješavanju sustava jednadžbi, u kojem je jednadžba kontinuiteta uključena u bilancu energije.

Na području fizike laserskih sistema proučavani su izboji smjese plemenitih plinova (helij-neon) i izboji smjesa plemenitog plina s halogenom primjesom. Određene su populacijske ovisnosti i objašnjeni mehanizmi kompleksnog prijenosa pobude preko sudara drugog reda.

### 1.3.5. Molekularna biofizika

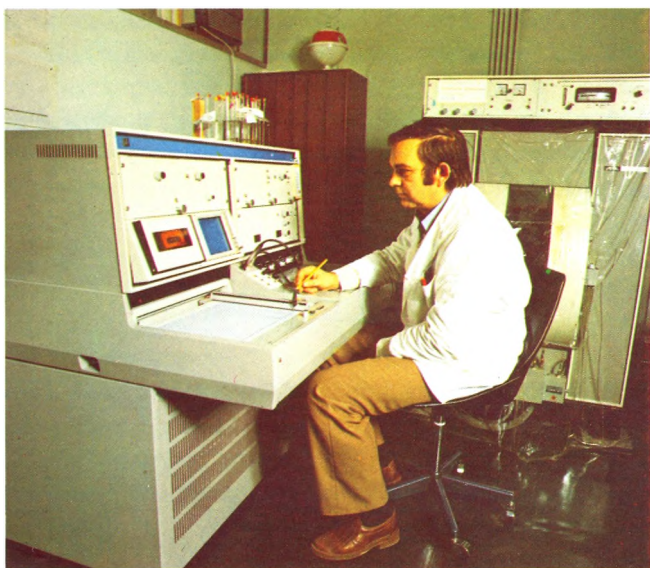
U razvoju suvremene molekularne biologije, koja je proizašla iz biokemijskih i genetičkih istraživanja, značajnu ulogu imaju i fizikalne tehnike istraživanja. Povijesni primjer za to jest uloga rendgenske analize u otkrivanju strukture osnovnih bioloških makromolekula - proteina i nukleinskih kiselina. Važnost biofizičkih istraživanja na molekularnoj razini upravo je u tome što ona omogućuju razotkrivanje strukture i međudjelovanja bioloških makromolekula, što je ključ za razumijevanje procesa u stanici.

Svrha je istraživačkog rada iz biofizike na Institutu »Ruđer Bošković« da se dobiju osnovne spoznaje o međudjelovanju makromolekula i o njihovu ponašanju u prirodnoj sredini.

Poznavanje međudjelovanja bioloških makromolekula s molekulama vode - koja je glavni prirodni okoliš biosistema - presudno je za razumijevanje funkcije tih makromolekula. Niz rezultata postignut je u izučavanju hidratacijske ovojnice, tj. sloja vode vezane na površinu makromolekula. Elektrolizom u čvrstom stanju klupčastih i lančastih biomakromolekula (globularnih hemoproteina i fibrilarnih soli DNA) proučen je mehanizam prijenosa mase i naboja. Transport energije pomoću protonske vodljivosti, koji nastupa nakon određenog stupnja vezanja molekula vode za površinu makromolekula, ukazuje na pojavu neprekidnog niza vodikovih mostova. Ispitivana je, također, uloga hidratacijske ovojnice u održavanju specifične strukture i biološke funkcije respiratornih molekula (mioglobin, hemoglobin), kao i lančastih makromolekula DNA.

Spektroskopskim metodama nuklearne magnetske i elektronske spinske rezonancije proučavano je međudjelovanje biomakromolekula s ionima i malim molekulama. Tako su dobiveni podaci o strukturnim detaljima aktivnih mjesta makromolekula, kao i o dinamičkim promjenama u njihovoj okolini.

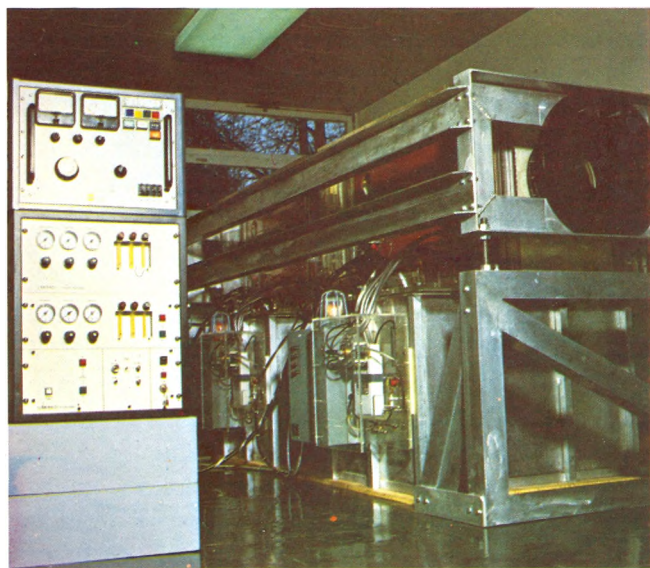
Međudjelovanje makromolekula u dinamičkim makromolekularnim asocijacijama također je proučavano spektroskopskim metodama. Proučavanjem hemoproteina otkriveno je da se ovisno o koncentraciji proteina događa samoasocijacija makromoleku-



Pulsni NMR spektrometar s Fourierovom transformacijom za jezgre  $^1\text{H}$  (100 MHz) i  $^{13}\text{C}$  (25 MHz). Uređaj je nabavljen sredstvima Instituta »Ruđer Bosković«, Republičke zajednice za znanstveni rad i INA-e



Plinski kromatograf omogućuje razdvajanje i identifikaciju kompleksnih spojeva, a primjenjuje se za analizu tragova organskih tvari u okolini



TEA  $\text{CO}_2$  laser

la, bez obzira na kvarternu strukturu. Ispitivano je međudjelovanje protein-lipid da bi se utvrdila molekularna organizacija lipoproteina iz krvne plazme. Mjerenja pokretljivosti lipidnog dijela lipoproteina metodom protonske magnetske relaksacije ukazuju na povezanost stanja površine s unutrašnjošću čestice, dok mjerenja elektronskom spinskom rezonancijom ukazuju na povezanost međudjelovanja lipid-protein i veličine čestice lipoproteina.

Poznavanje utjecaja zračenja visoke energije na biomakromolekule posebno je važno za radijacijsku terapiju i zaštitu od zračenja. Metodom elektronske spinske rezonancije proučavana su oštećenja u nukleinskim kiselinama i njihovim sastavinama. Proučeni su procesi stvaranja primarnih oštećenja, mehanizmi kemijske pretvorbe, kao i struktura sekundarnih, stabilnih, oštećenja. Posebno je značajan doprinos upoznavanju elektronske strukture i procesa nastajanja oštećenja na području šećer-fosfat, koja izazivaju kidanje polinukleotidnog lanca.



## 1.4. Fizika i kemija čvrstog stanja

### 1.4.1. Uvod

U poratnom se razdoblju fizika čvrstog stanja izvanredno razvila u svim industrijskim zemljama. Razlog je bliskost osnovnih istraživanja u toj grani s primjenama, te razmjerno mala potrebna ulaganja. Posljednjih su desetljeća uvedeni u široku upotrebu novi materijali kojih su svojstva shvaćena, sistematizirana i predložena za upotrebu, čemu je uvelike pridonijela i fizika čvrstog stanja. Spomenimo samo supravodiče, poluvodiče, magnetske materijale i slitine (legure) velikih čvrstoća i izuzetnih elastičnih svojstava. No, uloga fizike čvrstog stanja ne iscrpljuje se u sistematiziranju znanja i stvaranju novih materijala. Ta grana istraživanja zadire u vrlo zanimljiva i aktualna područja fizike općenito, npr. u područje kooperativnih pojava koje nastaju zbog zajedničkog djelovanja mnogih jedinki.

Istraživanje površina jedno je od perspektivnijih područja fizičkih znanosti, u prvom redu zbog mnoštva novih otkrivenih i objašnjenih pojava na granici između krute i plinovite, odnosno tekuće faze, te mogućnosti primjene tih rezultata.

Istraživanjem kristalnih struktura i mikrostruktura stječu se nove spoznaje o uzajamnoj vezi strukture i fizičkih, kemijskih i drugih svojstava materijala.

Fizika čvrstog stanja prirodno se isprepleće s mnogim drugim znanstvenim područjima, npr. s kemijom, elektronikom, metalurgijom, medicinom, biologijom, fizikom plazme, molekularnom fizikom itd.

### 1.4.2. Teorijska fizika čvrstog stanja

Jedan od prvih teorijski razmatranih problema na tom području, na Institutu »Ruđer Bošković«, bio je problem luminiscencije metala. S tim u vezi određeno je vrijeme raspršenja energije elektrona na titrajućima kristalne rešetke. Zatim je dana jednostavnija formulacija problema transporta elektrona u metalima izvođenjem odgovarajuće diferencijalne jednadžbe za energetska raspodjelu elektrona, pod utjecajem stalnog električnog polja na niskim temperaturama.

Dok je razmatran problem međudjelovanja elektron-elektron i elektron-fonon u metalima, istražen je i utjecaj kvantnih efekata izmjene i korelacije

elektrona na kolektivna gibanja u kristalima i na njihovu dielektričku funkciju. Istraživana su električna i magnetska svojstva razrijeđenih legura.

Postavljena je kvantno-mehanička teorija fotoemisije koja omogućuje numerički proračun intenziteta i energetske raspodjele elektrona u neelastičnom dielul fotoelektronskog spektra.

Zadnjih je godina veća pažnja posvećena fizici površina. Razvijena je jedna od prvih kvantnomehaničkih teorija raspršenja niskoenergetskih elektrona na molekulama adsorbiranim na površini metala.

### 1.4.3. Fizika poluvodiča

Razvoj fizike poluvodiča započeo je u nas desetak godina nakon otkrića tranzistora i uvođenja teorijske predodžbe o elektronu i šupljini kao nosiocima električnog naboja, datuma koji se smatra početkom te nove grane fizike. Potkraj pedesetih godina izvršena je prva preparacija i rast monokristala silicija u našem Institutu.

Drugi prodor na to područje učinjen je početkom šezdesetih godina. Poticaj je došao s područja primjene, kad su se u vakuumskoj tehnici pojavili temperaturno osjetljivi otpornici, tzv. termistori. Istražuju se defekti u poluvodičima uzrokovani nuklearnim zračenjem, te se nastoji ovladati tehnologijom tzv. p-n prijelaza u siliciju na kojem se zasnivaju električke osebine što omogućuju široku elektroničku primjenu tog materijala.

Sredinom šezdesetih godina ta su istraživanja ka-drovski ojačana, no uskoro zatim više starijih suradnika prelazi na novoosnovani Institut za fiziku Sveučilišta.

Među značajnijim rezultatima u osnovnim istraživanjima iz fizike poluvodiča spomenut ćemo nekoliko. Detaljno su izučeni efekti uzrokovani neutronima i  $\gamma$ -zrakama u litijem dopiranom kadmij teluridu, siliciju i germaniju čime je omogućeno dobivanje visokokvalitetnih detektora nuklearnog zračenja.

Sintetizirani su i istraživani, u nekim slučajevima prvi put u svijetu, novi poluvodički spojevi dobiveni spajanjem elemenata iz treće (Al, In, Ga) i šeste (S, Se, Te) skupine periodnog sustava. Razvijena je nova metoda indirektnog dopiranja poluvodiča koja

omogućuje dobivanje p-n prijelaza u materijalima kod kojih to nije bilo moguće postići drugim tehnikama. Karakterizirane su i fazne transformacije u spojevima prve i šeste, te treće i šeste skupine.

Na području primijenjenih istraživanja razvijena je prva domaća silicijeva solarna fotoćelija te silicijevi i germanijevi nuklearni detektori, zatim prva domaća dioda iz GaP, emiter crvene svijetlosti, kao i ćelija za memorijsko prekapčanje iz galij selenida i indij selenida. Prva solarna ćelija dobivena je implantacijom iona bora u silicij. Iz ovih istraživanja proizašao je i niz patenata i tehnoloških rješenja.

#### 1.4.4. Kristalografija

Istraživanjem kristalnih struktura i mikrostruktura u prvom redu novih spojeva i sistema metodama rendgenske difrakcije, diferencijalne termičke i termogravimetrijske analize, električnih i drugih mjerenja, stječu se nove spoznaje o uzajamnosti kristalne strukture i mikrostrukture, te raznih fizičkih, kemijskih i farmakoloških svojstava.

Značajna aktivnost na tom području istraživanja odvija se i na našem Institutu. Tako se rendgenskom strukturnom analizom monokristala određuju kristalne i molekularne strukture različitih anorganskih i organskih spojeva, dok se metode difrakcije na polikristalu upotrebljavaju za određivanje mikrostrukture, za definiranje faznih dijagrama, te za analizu kristalne strukture spojeva teških metala s drugim metalima i nemetalima, kao i poluvodičkih višekomponentnih sustava.

*Razvoj metoda rendgenske difrakcije.* Pronađene su originalne metode mjerenja parametra jedinične ćelije kristala, razvijena je i uspješno upotrijebljena metoda analize proširenja rendgenskih difrakcijskih linija zbog naprezanja i male veličine kristalita, te je poopcena izvorna metoda određivanja udjela kristalne i amorfne faze u kvantitativnoj rendgenskoj difrakcijskoj faznoj analizi. Te su metode upotrijebljene pri proučavanju raznih vrsta grafita, vezivnih materijala i nekih poluvodičkih spojeva.

Razvijaju se matematičke metode u kristalografiji, posebno tzv. direktne metode u određivanju faza strukturnih faktora. Uvode se novi kristalografski programi za elektronička računala.

*Rast i svojstva kristala.* Usvojen je, i dalje razrađen, niz postupaka za rast monokristala. Još 1958. dobiveni su prvi monokristali germanija radi razvoja teh-

nologije poluvodiča. Za rad s teško taljivim materijalima, a posebno za dobivanje monokristala silicija, izgrađen je uređaj za dobivanje kristala metodom »lebdeće zone«. Razradom više uređaja za rast kristala iz vodene otopine omogućen je sistematski rad na proučavanju utjecaja primjesa na rast i električna svojstva seignettove soli, jednog od standardnih dielektrika.

Izgrađen je niz aparatura za istraživanje električnih svojstava kristala dielektrika, a razrađena je i originalna metoda piroelektrične temperaturne analize kristaliničnog praha. Metoda se upotrebljava za određivanje faznih prijelaza u intervalu od 103 K do 293 K, a može se iskoristiti i za otkrivanje feroelektričnih svojstava polikristalnih sustava.

*Rendgenska strukturna analiza metodama monokristala.* Tom metodom proučavano je više grupa spojeva. Od anorganskih spojeva istraživani su fosfati torija i urana, interesantni za nuklearnu tehnologiju, te u metalurgiji zanimljivi fluoridi prijelaznih metala, kao i kompleksni spojevi prijelaznih teških metala. Određene su kristalne strukture fosfata torija i urana s alkalnim metalima, priređenih u talini visoke temperature. U toj klasi fosfata otkriven je nov tip feroelektrika. Proučavana je kristalokemija fluorida nekih prijelaznih metala, a posebno za njih karakteristično trodimenzionalno povezivanje molekula. Određene su kristalne strukture niza anorganskih soli i kompleksnih spojeva prijelaznih metala. Proučena je također, stereokemija više makrocikličkih spojeva.

Budući da funkcija biološki aktivnih molekula ponajviše ovisi o njihovoj trodimenzionalnoj strukturi, očita je važnost strukturnih istraživanja takvih spojeva. Rendgenskom strukturnom analizom određene su konfiguracije, konformacije i kristalne strukture većeg broja biološki i farmakološki interesantnih tvari. Proučavani su tioanalozi 5,6 - dihidrouridina kako bi se geometrija tih molekula usporedila s onom koja se pojavljuje u t-RNA. Proučavan je novi tip teofilin nukleozida s nezasićenim amino šećerima. Riješena je struktura molekula ribazola, konstituenta vitamina B<sub>12</sub>. Zbog izuzetne važnosti konfiguracione analize šećera za razumijevanje njihova kemijskog i biološkog ponašanja, proučavane su grupe stabilnih, peracetiliranih, nezasićenih amino šećera.

U okviru znanstvene suradnje s istraživačkim institutom »Plive« određena je konfiguracija i konformacija nekih produkata reakcije u nizu penicilina, te substituiranih benzocikloheksena, od kojih neki pokazuju analgetska, antihistaminska, antiserotoninska i



antiholinergična svojstva. Uspoređivanjem farmakološke aktivnosti i karakteristika stereokemije dušika u tim spojevima moglo bi se naći objašnjenje mehanizma djelovanja toga tipa narkotika. Nađene su, također, neke nove faze hidrata cimetidina i određena je kristalna struktura monohidrata cimetidina, spoja koji se pokazao vrlo uspješnim u liječenju čira želuca.

*Metode rendgenske difrakcije na polikristalu.* Višekomponentni poluvodički sustavi istražuju se sistematski rendgenskom difrakcijom, električnim i optičkim metodama. Posebno se istražuju spojevi tipa  $(A_xB_{1-x})_2^{III}(C_xD_{1-x})_3^{VI}$  i definiraju njihovi fazni dijagrami. Ti se spojevi, u biti, osnivaju na strukturnim tipovima sfalerita i vurcita, ali u njima metalni ioni zauzimaju dvije trećine mogućih položaja. Načini na koje metalni ioni popunjavaju tetraedrijske i oktaedrijske praznine proizvode niz raznih politipova, nadstruktura i sređeno-nesređenih struktura, što ovisi o sastavu, sintezi i temperaturi.

Proučavanje mehanizma grafitizacije primjer je sustavnog istraživanja mikrostrukture rendgenskom difrakcijom. U ovisnosti o temperaturi žarenja praćen je postepeni prijelaz nesređene slojevite strukture petrokoksa, preko niza uzoraka sve veće kristalnosti

do sređene strukture polikristalnog grafita, što se očituje u smanjenju međuslojnog razmaka, porastu veličine kristalita i sređenosti njihove kristalne rešetke.

Studirani su sustavi koji uključuju materijale važne u nuklearnoj tehnologiji, kao potencijalna goriva ili košuljice i njihove interakcije, te oni metalni sistemi koji bi se mogli iskoristiti u tehnologiji tehnički važnih metala.

Priređen je niz novih intermetalnih spojeva, kao i spojeva metal-nemetal (C, N, O, P, S itd.) metodama sintrovanja, vrućeg presanja (tiještenja), lučnog i zonalnog taljenja, taljenja elektronskim snopom i visokofrekventnim strujama. Dio uređaja koji su za to upotrijebljeni vlastite je konstrukcije. U istraživanju svojstava i fazne ravnoteže u višekomponentnim sistemima, uz metode rendgenske difrakcije i neutronske difrakcije, iskorištene su i metode elektronske mikroanalize, diferencijalne termičke i termogravimetrijske analize, termičke dilatacijske analize, metalografije s mikrotvrdoćom, visokotemperaturne metalografije i magnetske susceptibilnosti po Faradayu. Posebno mjesto pripada istraživanjima vezanim uz mogućnost apsorpcije vodika i deuterija i oksidacije nekih intermetalnih spojeva.

## 1.5. Problemi velikog broja čestica, kemijska termodinamika i kinetika, dobro definirani sustavi

### 1.5.1. Uvod

Istraživanja u fundamentalnim znanostima često zahtijevaju interdisciplinarni pristup, sintezu znanja i dostignuća, kako u osnovnoj disciplini koja se bavi predmetom istraživanja tako i u srodnim disciplinama, koje ili daju teorijsku osnovicu ili pak eksperimentalnu metodologiju i tehniku.

Istraživanja u anorganskoj i fizikalnoj kemiji upravo su primjer takvog pristupa. Istraživanja u anorganskoj kemiji obuhvaćaju određivanje ovisnosti kemijskih svojstava o molekularnoj i kristalnoj strukturi, proučavanje mehanizama kemijskih reakcija, stabilnosti stvorenih spojeva u čvrstom, tekućem ili otopljenom stanju. Discipline termodinamike i kemijske kinetike omogućuju interpretaciju karakterističnih parametara atoma i molekula i njihovih

promjena u toku reakcija. Tehnike su mjerenja brojne: spektroskopija je najzastupljenija, i u radovima suradnika Instituta spominju se ultraljubičasta, vidljiva, infracrvena, nuklearno-magnetska i elektronsko-spinska. Od analitičkih tehnika najvažnije mjesto zauzimaju elektroanalitičke metode, među kojima je najzastupljenija polarografija, te rentgenska strukturna analiza. Mjerenja radioaktivnosti imaju posebno mjesto bilo kao analitička tehnika, bilo kao radiometrijske tehnike u kemiji vrućeg atoma, radiokemiji i tehnologiji separacije radionuklida, bilo u aktivacionoj analizi ili radioekologiji.

Koloidna i površinska kemija oslanjaju se na iste metodološke pristupe, uz primjenu specifičnih tehnika, kao što su elektroforeza, metode vezane uz hidrodinamiku disperzija, određivanje specifičnih površina, raspodjele veličina čestica i adsorpcije.

## 1.5.2. Anorganska kemija i kemija kompleksnih spojeva metala

Istraživanja u okviru anorganske kemije ukazuju upravo na višestruki karakter znanstvenoistraživačkog rada u Institutu. Ta su istraživanja fundamentalna, ali već od samog početka i usmjerena. Upravo je zato potrebno razdoblje od trideset godina podijeliti na dvije značajnije etape. U prvoj etapi, negdje do početka šezdesetih godina, istraživanja slijede rad započet na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu, od kojih je potrebno istaći studij kompleksnih spojeva žive. Najznačajniji uspjeh u okviru ispitivanja kompleksnih spojeva žive jest izolacija i karakterizacija trismetilmerkuri oksonijevih soli.

Istodobno, potkraj pedesetih godina, uz tradicionalna istraživanja prenesena na Institut s fakulteta, stvaraju se i originalni istraživački pravci. To je druga etapa, naznačena jakom orijentacijom na nuklearnu problematiku: Institut postaje značajno središte nuklearnokemijskih istraživanja.

Istraživanja u okviru tehnologije nuklearnih materijala obuhvaćaju ispitivanja ekstrakcije metala, sinteze novih organo-fosforinih spojeva i visokomolekularnih amina, kao potencijalnih ekstrakcionih agensa, te rad na sintezi i karakterizaciji metalnih kompleksa urana, torija i drugih metala koji dolaze kao fisioni produkti.

Novi organofosforini spojevi uspješno su primijenjeni za ekstrakciju urana, torija, niobija, tantala, cirkonija, hafnija i rijetkih zemalja. Ispitivana je stabilnost i nastajanje kompleksa u raznim organskim otapalima. Razrađene su vrlo brze i selektivne metode separacije, od kojih posebno treba istaknuti separacije cirkonija od niobija, niobija od tantala i separaciju pojedinih rijetkih zemalja.

Jedan od značajnijih uspjeha u tom razdoblju rada jest određivanje strukture uran(IV)- i torij(IV) - acetylacetonata. Ustanovljeno je da je koordinacijski poliedar tih spojeva antiprizma, što je bilo značajno s obzirom na to da je dotad bilo poznato vrlo malo struktura metalnih kompleksa s koordinacijom 8. Istraživanja kompleksnih spojeva cirkonija i hafnija, a posebno niobija i tantala, vrlo su opširna, i ovi su rezultati značajan doprinos poznavanju prirode veza, stereokemije i strukture kompleksnih spojeva.

Kad je, sredinom šezdesetih godina, u SAD pokazano da plemeniti plinovi i nisu toliko plemeniti da ne bi mogli, pod ekstremnim uvjetima, stvarati spojeve,

tim su se istraživanjima priključili i istraživači Instituta. U to doba oni su raspolagali znanjem i tehnikom na vrhuncu svjetskih dostignuća.

Neposredno nakon objave sinteze prvih halida plemenitih plinova u svijetu, suradnjom znanstvenih radnika Instituta »Jožef Stefan« i Instituta »Ruder Bošković«, sintetiziran je novim postupkom ksenon tetrafluorid, a magnetskim metodama određena mu je priroda veze.

Druga etapa označena je napuštanjem nuklearne problematike što zbog promjena u interesu društva, a mnogo više zbog promjena u načinu financiranja: suradnici Instituta usmjeravaju se na fundamentalna istraživanja, koja su pristupačnija i zahtijevaju manja sredstva. U nekoliko godina toga prijelaznog razdoblja istraživanja u Institutu kreću se u pravcima na kojima se osjeća nov interes privrednih struktura i društva općenito. Ta etapa posebno postaje naglašenom nakon 1974. i samoupravne reorganizacije Instituta.

Istraživači koji su se bavili kompleksnom kemijom usmjeravaju svoja istraživanja na studij stereokemije i strukture kompleksnih spojeva prijelaznih metala, koji mogu biti aktivni i selektivni katalizatori za velik broj važnih industrijskih procesa. Za uspješno rješavanje i upoznavanje mogućnosti sinteze takvih spojeva, kao i za ispitivanje katalitičkih svojstava, potrebno je, prije svega dobro poznavanje osnovnih procesa koji se odvijaju u koordinacijskoj sferi prijelaznih metala.

Metalne nakupine (*clusters*) diskretne su molekularne vrste u kojima je tri ili više metalnih atoma povezano s različitim poliedrima. Topljivi su u velikom broju nereaktivnih otapala, pa tako zadržavaju sve eksperimentalno poželjne odlike jednostavnih mononuklearnih homogenih katalizatora. Stoga su pogodni kao modeli za definiranje strukture, stereokemije i dinamičke stereokemije u katalizi. Istraživani su *cluster*-sistemi niobija i tantala, i to oni u kojima šest atoma metala povezani međusobno tvore oktaedar, a svaki atom metala još je povezan sa dva atoma halogena. Takav poliedar tvori veliki kation sa dva pozitivna naboja. Anionske su vrste kompleksa ili halogeni ili hidroksilne skupine. Razjašnjen je mehanizam raznih reakcija tih spojeva u otopinama. Iskustvo stečeno u kemiji organofosforinih spojeva omogućilo je sintezu novih kompleksnih spojeva kobalta(II), nikla (II) i bakra (II) s tridentatnim organofosforinim ligandima. Sintetizirani su prvi kompleksni spojevi prijelaznih metala s organskim tris-



fosfinoksidima. Ustanovljeno je da se, ovisno o strukturi i svojstvima liganda i aniona, mijenja koordinacijski poliedar oko središnjega metalnog iona. Priređeni su prvi kompleksni spojevi prijelaznih metala s tridentatnim organofosforinim spojevima u kojima je pretpostavljeno da su sve tri fosforilne skupine iz jednog liganda vezane na isti metalni ion.

### 1.5.3. Kemija nuklearnih sirovina i materijala

Proučavanje stabilnosti i reaktivnosti metalnih kompleksa u vodenim otopinama disciplina je koja svoje mjesto u istraživačkim aktivnostima Instituta zahvaljuje istraživanjima nuklearnih sirovina (urana i torija) i nuklearnih nečistoća u njima (bakar, kadmij, željezo, nikal) ili u materijalima za nuklearnu tehnologiju.

Na tom području treba spomenuti dvije posebne discipline: elektrokemiju s elektroanalitičkom metodologijom i kemijsku kinetiku brzih reakcija.

U elektrokemijskim istraživanjima posebno mjesto zauzima polarografija. Ta disciplina, koja je, tridesetak godina otkako je utemeljena početkom dvadesetih godina (Heyrovski u Češkoj), bila samo makroanalitička metoda, naglo se razvila s prodorom elektronike u elektrokemijsku instrumentaciju.

Kemija je, naime, sve do kraja pedesetih godina bila uvelike nezavisna disciplina. Instrumentacija, zasnovana na uređajima s elektroničkim cijevima, bila je pomoćno sredstvo za mjerenje onih veličina koje inače kemiji nisu bile dostupne. Tranzistorizirana instrumentacija, koja se pojavljuje potkraj pedesetih godina, a pogotovu elektronika zasnovana na integriranim krugovima, označuje i revoluciju u kemijskim istraživanjima. Analitička kemija doživljava najveći preobražaj, te sredina šezdesetih godina naznačuje prijelaz u drugu etapu istraživanja. Sredinom sedamdesetih godina taj se pristup počinje i dalje mijenjati primjenom elektroničkih računala, i to najprije u posebnoj obradi podataka (*off-line*), a u najnovije doba i u neposrednoj vezi u upravljanju eksperimentom (*on-line*).

*Kemija urana.* Istraživači s Instituta počeli su svoja istraživanja na kompleksima urana i na njihovu analitičkom određivanju već 1955. Pridolaskom novih metoda naglo se razvija elektrokemija. Čitav niz radova otvorio je put poznavanju kemije urana u vodenim otopinama. Potpomognut intenzivnim financiranjem nuklearnih disciplina, Institut je šezdesetih godina postao jedan od vodećih svjetskih centara elektrokemijskih i elektroanalitičkih istraživanja. Iz

tih je istraživanja proistekla i njihova primjena na dobivanje uranov dioksida elektrokemijskom redukcijom urana u karbonatnim otopinama. Te se otopine dobivaju kad se izlučuju granitne rudače urana niske koncentracije, tipične za naša ležišta u istočnoj Srbiji. Postupak je primjenjiv i na kisele otopine, one koje proizlaze iz tehnoloških postupaka razlaganja bazičnih stijena, karakterističnih za rudače u slovenskim nalazištima.

Elektrokemijska istraživanja nuklearnih materijala pridonijela su razvoju jedne druge discipline. Nuklearni materijali moraju biti očišćeni od tragova metala kao što su bakar ili kadmij. Stoga je sastavni dio istraživanja nuklearnih materijala analiza tragova metala. Napuštanjem nuklearne sirovinke problematike počela je dobivati važnost jedna ekološka disciplina vezana za nuklearnu ekologiju: počela su istraživanja radioaktivnosti u prirodnim vodama.

Usmjerenost na zagađivanje prirodnih voda, posebno Jadranskoga mora, bila je logično određena i interesom društva i svrsishodnošću primjene znanja stečenog istraživanjima nuklearnih materijala i sirovina. Sredinom šezdesetih godina jedna veća skupina istraživača počinje svoj novi put. Elektroanalitička i elektrokemijska metodologija primjenjuje se na istraživanja vrste koncentracije, kemijskog oblika i reaktivnosti metala u prirodnim vodama. Elektrochemijskim metodama priključuju se i analitičari koji se bave neutronsom aktivacionom analizom. Upotrebljava se ili reaktor u Vinči, ili poslije, reaktor Triga III u Ljubljani.

*Kompleksni spojevi metalnih iona.* Istraživanja separacije radionuklida, bilo radi dobivanja radionuklida iz ozračenih meta ciklotrona, bilo radi razdvajanja postojećih vrsta u prirodnim vodama, potakla su primjenu elektroforetskih metoda. Pošto je pedesetih godina u nekoliko radova razrađena teorija elektroforeze na nosaču u vlažnoj komori, primjena na spomenute probleme posebno je intenzivna šezdesetih godina. Utvrđeni su kemijski oblici rutenija u morskoj vodi, pokretljivost niza metala, stanje cinka, olova i još nekih elemenata.

Reaktivnost kompleksa u vodenim otopinama često je tolika da mjerenje zahtijeva primjenu brzih i ultrabrzih metoda. Odnosi između strukture i reaktivnosti kompleksa, posebno metalnih iona s organskim ligandima, proučavani su metodama spektrofotometrije i tehnike *stopped-flow*. Kemijska reaktivnost čitavog niza spojeva proučavana je kvantitativno, čime je pružena osnovica za razumijevanje uloge metala u osnovnim procesima biokemijske sinteze.

### 1.5.4. Višefazni sistemi, koloidi i površinske reakcije

Jedno od značajnijih područja istraživanja suradnika Instituta jest problematika pojava na granicama faza čvrsto/tekuće, stvaranje čvrste faze iz vodenih otopina i taloženje. Ta istraživanja, započeta prije četrdesetak godina na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu, rano su uklopljena u strukturu istraživačkog rada Instituta. Danas na njima radi nekoliko desetaka istraživača i oni nastavljaju tradiciju Jugoslavenske škole koloidne kemije.

Stvaranje čvrste faze osnovica je mnogih tehnoloških procesa u kemijskoj industriji, a poglavito u izdvajanju nuklearnih sirovina iz rudača te u preradi ozračenog reaktorskog goriva. Stoga je ta disciplina odmah zauzela značajno mjesto u programima rada Instituta pedesetih godina. Poslije je problematika značajno proširivana i na probleme rasta tkiva i mineralizacije kostiju, uz metodologiju protustrujne dvokomponentne difuzije s imunokemijskom primjenom, te na izdvajanje biološki važnih koloida. Proučavanje stanja sedimenata u prirodnim vodama također je jedno od značajnih proširenja osnovne discipline koloidne kemije.

U tim istraživanjima određene su konstante produktivnosti metalnih hidroksida i karbonata, kao i konstante stabilnosti topljivih kompleksa u elektrolitnim otopinama. Razrađeni su taložni dijagrami dvokomponentnih i višekomponentnih taložnih sistema, koji pokazuju odnos između koncentracije reaktanata, mehanizama procesa taloženja i svojstva nastalih taloga, a specifično daju informaciju o mehanizmu procesa stvaranja nukleusa - najmanje jedinične čestice novonastale čvrste faze. Kinetičkim praćenjem taloženja bilo je moguće razlučiti procese kristalnog rasta i agregacije, i dobivene su tako informacije o mehanizmu kristalnog rasta. U tu je svrhu razvijeno više pogodnih metoda i tehnika, među ostalima računske metode za određivanje strukturnih pretvorbi za nastajanje čvrste faze. Pokazano je da je pojava hidratiziranih kristalinih ili amorfnih, metastabilnih prekursora tipična za nastajanje hidrofobnih taloga. Ispitivanja taloženja anorganskih i organskih teško topljivih spojeva u gelovima, u uvjetima dvostruke difuzije, urodila su naročito uvjerljivim uspjehom. Prvi je put taj problem tretiran kvantitativno, tako da su primjenom egzaktnih rješenja zakona difuzije određivane kritične koncentracije reaktanata na mjestu taloženja u gelu. Tako su nađe-

ne neke zakonitosti koje su i teoretski objašnjene kao posljedica kinetičke interakcije dvaju procesa, difuzije reaktanata kroz gel i rasta kristala.

Radi kinetičkog praćenja procesa na granicama faza razvijene su radiometrijske metode, koje su primijenjene pri istraživanju heterogene zamjene, sorpcije radionuklida, kao i za određivanje mehanizama transformacije čvrste faze.

Kao bitna karakteristika koloidnih sustava utvrđen je odnos između koloidnog stabilizatora, kristalografske strukture i disperziteta čvrste faze.

Pokazana su tipično koloidna kemijska svojstva razrijeđenih smjesa anionskih i kationskih tenzida, a utvrđene su i strukturne i kompozicijske promjene za nastajanje višekomponentnih sustava.

U novije doba suradnici Instituta ispituju i adsorpciju biopolimera (proteina, polisaharida) na površinama fino dispergiranih taloga kao dio problematike vezane za mineralizaciju u tkivima živih bića.

Pri izboru modelnoga sistema za spomenuta istraživanja suradnici Instituta vodili su računa o dva osnovna faktora: o pogodnosti sistema za određivanje osnovnih fizičko-kemijskih parametara ispitivanih procesa i o značenju odabranih modelnih sistema za tehnologiju, ekologiju i medicinsko-biološku primjenu.

Upravo u ovoj posljednjoj disciplini, biološkoj i medicinskoj primjeni koloidno-kemijska istraživanja pokazala su značajne rezultate. Istraživanja taloženja kalcijeva fosfata i oksalata vršena su u uvjetima koji su bliski onima pod kojima dolazi do biološke mineralizacije (okoštavanje, rast zubi), ili do patoloških promjena u kostima uz gubitak mehaničke otpornosti, ili do stvaranja mokraćnih kamenaca.

Proučavanjem višefaznih sustava u vodama suradnici Instituta stekli su potreban znanstveni potencijal za suvremeno uključivanje u problematiku pročišćavanja otpadnih voda. Do sada je više puta vršena fizičko-kemijska karakterizacija industrijskih otpadnih voda, a razrađuju se i metode za uklanjanje suspendiranog materijala i otopljenih organskih i anorganskih polutanata u specifičnim slučajevima. Metode koje su uobičajene u svijetu uglavnom se temelje na flokulaciji (fino suspendirani materijali), taloženju (teški metali, sulfidi, cijanidi, fosfati, i dr.), te adsorpciji (organske boje, lakovi) na pogodnom materijalu (gline, boksiti, magnezit); svi ti procesi bili su predmet dugogodišnjeg interesa naših suradnika. Velik dio djelatnosti suradnika Instituta bio je usmjeren na proučavanje heterogenih ravnoteža, hidrolize, oksido-redukcijskih procesa i taloženja u si-



stemima, koji su posebno važni u nuklearnoj tehnologiji (hidroksidi, karbonati i fosfati urana (VI) i (IV), te hidroksidi lantanida i drugih metala, koji se pojavljuju kao fisioni produkti u nuklearnim reaktorima).

Ta istraživanja, osim što su urodila objavljenim znanstvenim radovima, rezultirala su i sa nekoliko patenata, u kojima je, uz ostalo, opisano i dobivanje nuklearno čistog uranova dioksida elektrokemijskom redukcijom.

## 1.6. Djelovanje zračenja na materiju

### 1.6.1. Istraživanje kinetike i mehanizama radijacijsko-kemijskih reakcija i kemije vrućeg atoma

Brzi razvitak nuklearnih znanosti i tehnologije poslije drugog svjetskog rata potakao je istraživanja u dvije srodne discipline. U radijacijskoj kemiji započeta su istraživanja kemijskih promjena u materijalima nastalim zbog apsorpcije visokoenergetskog ionizirajućeg zračenja. U kemiji vrućeg atoma proučavaju se kemijske promjene koje nastaju u materijalu kao posljedica nuklearnih reakcija.

Istraživanja u te dvije discipline počinju u Institutu potkraj pedesetih godina, u doba kad je nuklearno usmjerenje Instituta osnovno.

Ovdje treba istaći rezultate istraživanja koja su omogućila fizikalno-kemijsku karakterizaciju elektrona, kad je on svrstan u red jedne od kemijskih vrsta.

Fundamentalna istraživanja suradnika Instituta dala su prve dokaze i prva u svijetu kvantitativna mjerenja kemijskih reakcija netermalnog elektrona u tekućem mediju. Pronađen je cijeli novi niz tekućih kemijskih dozimetara, a jedan se od tih dozimetara proizvodi i serijski jer se primjenjuje u općenarodnoj obrani.

Istraživanja u radijacijskoj kemiji polimernih sistema počela su u Institutu početkom sedamdesetih godina. Obuhvatila su pretežno radijacijsko cijepljenje (*grafting*) monomera na polimere, te umrežavanje (*crosslinking*) polimera. Kombinirana istraživanja kinetike reakcije cijepljenja i strukturalnih promjena izazvanih reakcijom urodila su novih spoznajama o mehanizmu reakcije cijepljenja s jedne strane i fundamentalnim doprinosom poznavanju strukture

polimera s druge strane. To iskustvo postavilo je temelje uspješnoj suradnji Instituta s industrijom plastičnih masa.

Značajan doprinos na području kemije vrućih atoma jest postavljanje danas općeprihvaćenog modela termičkog napuštanja ozračene tvari reakcijom odskočnog atoma s osnovnim spojem, te kemijske karakterizacije izazvanih ionizirajućim zračenjem u kristaliničnim spojevima. Istodobno su se tako na osnovama fundamentalnih istraživanja mogle razvijati tehnike proizvodnje ciklotronskih radionuklida. Uz čisto znanstvenu vrijednost ubrzo su uočene mogućnosti primjene tih spoznaja u industriji i privredi, kao pri gradnji nuklearnih reaktora i elektrana, dobivanju radionuklida i radionuklidima obilježenih materijala i kemikalija, u radijacijskoj katalizi, sterilizaciji hrane, lijekova, i medicinskih instrumenata te u nuklearnoj medicini.

### 1.6.2. Djelovanje zračenja na poluvodiče

To područje, kao tada jedino i specifično u Jugoslaviji, počelo se razvijati početkom šezdesetih godina. U dosadašnjim istraživanjima detaljno su karakterizirani neki od defekata koje reaktorski i brzi monoenergetski neutroni, teški ioni, te gama-zrake uvode u silicij, germanij, kadmij telurid ili indij antimonid. Uz to su razvijeni teorijski modeli za objašnjenje granične energije za pomak atoma za razne poluvodiče, kao i varijante za izbjegavanje štetnog efekta samokompensacije kod nekih poluvodičkih spojeva.

## 1.7. Sinteze, stereokemija i reakcijski mehanizmi organskih sistema

### 1.7.1. Uvod

Organska kemija, ili kemija ugljikovih spojeva, ima za naše prilike - razmjerno dugu tradiciju u znanstvenoistraživačkom radu, koji se izvanredno uspješno odvijao do prije samoga početka drugoga svjetskog rata na Sveučilištu u Zagrebu. Pri osnivanju Instituta »Ruđer Bošković«, vjerojatno je i ta tradicija bila jedan od razloga što je formirano nekoliko organskokemijskih laboratorija, kojima su voditelji bili nastavnici i istraživači sa Sveučilišta i iz farmaceutske industrije u Zagrebu.

U toku godina istraživanja na području organske kemije u Institutu proživljavala su mnoge promjene, kako u pogledu interesa za određene teme i općih pristupa problematici, tako i u pogledu metoda i tehnika rada koje su istraživači Instituta »Ruđer Bošković« primjenjivali. Razlozi koji su utjecali na te promjene i zaokrete bili su mnogobrojni, ali se može ustvrditi da su, kao, uostalom, i na drugim područjima, tri faktora (1. nova dostignuća znanosti u svijetu; 2. zainteresiranost društvenih faktora i industrije; 3. kreativnost i angažiranost neposredno uključenih istraživača) igrala ključnu ulogu u formiranju pojedinih pravaca istraživanja, njihovu opsegu i daljnjem razvoju kao i vrijednost postignutih rezultata.

### 1.7.2. Prvobitna istraživanja

Prva faza organskokemijske djelatnosti u Institutu bila je usmjerena izrazito prema nuklearnim programima. Kako je Savezna komisija za nuklearnu energiju pokazivala stanovito zanimanje za organske spojeve koji imaju protektivno djelovanje na ionizirajuće zračenje, te za organske molekule koje mogu stvarati komplekse s metalima - tome su prilagođavane neke od već postojećih istraživačkih tema u našoj sredini. Tako se, npr. radi na sintezama iz reda aril i heterocikličkih tioamida (kao potencijalnih protektora), te na pironskim i piridonskim derivatima (kao kompleksirajućim agensima). Iz toga su ranog perioda i sintetski radovi na dugolančanim neza-

sićenim aminoalkoholima iz reda sfingozina (spojevi koji dolaze u velikim količinama u lipidima mozga i živčanog tkiva). U skladu s nuklearnom orijentacijom, ostvareni su i uvjeti za radioaktivne sinteze organskih molekula, te su pripravljeni prvi  $^{14}\text{C}$ -obilježeni spojevi iz reda aminokiselina i indola, s kojima se vrše metabolička istraživanja u Institutu i izvan njega.

Oko 1960. *sintetsko-organska kemija* na Institutu »Ruđer Bošković« usmjerava se prema heterocikličkim sustavima. Rezultati istraživanja metabolizma 5-hidroksitriptamina (serotonina) inicirali su sinteze spojeva iz reda indolalkilamina i indolkarbonskih kiselina radi identifikacije metabolita i prekursora toga biogenog amina. Radovi na sintezi i konformaciji 3-okso-indazol dikarbonskih kiselina bili su u prvoj fazi motivirani helatizirajućim svojstvima tih spojeva, napose njihovom sposobnosti stvaranja kompleksa s divalentnim ionima barija, stroncija i kalcija. Iz te klase spojeva priređeni su i esteri *N*-acilaminocikloheksan dikarbonskih kiselina za koje je nađeno da intramolekularnom ciklizacijom prelaze u određene izomere bicikličkog sistema - tzv. azabicikloalkan strukture - koje, po svojoj prostornoj građi, odgovaraju esencijalnim fragmentima akonit alkaloida.

### 1.7.3. Mehanizmi kemijskih reakcija

U periodu oko 1960. počinju radovi s područja mehanizama organskokemijskih reakcija. Svrha je tih istraživanja upoznati slijed događaja u toku jedne organskokemijske reakcije, tj. upoznati strukturne i energetske promjene na putu od reaktanata do produkta. U prvoj fazi, glavni interes tih istraživanja bio je usmjeren na studij sekundarnog deuterijskog izotopnog efekta i njegovu primjenu u objašnjavanju mehanizma po kojemu se reakcija odvija. Proširenje tih istraživanja bila su ispitivanja struktura prijelaznih stanja kod reakcija solvolize pomoću deuterijskih izotopnih efekata; supstrati na kojima su vršena ispitivanja bili su terpeni, steroidi i biciklički si-



stemi. Nadalje, studiralo se nastajanje i reaktivnost ionskih parova u reakcijama nukleofilne supstitucije. Struktura i reaktivnost protoniranih heteroorganskih baza u jakim i superjakim kiselinama istraživana je primjenom  $^1\text{H}$  i  $^{13}\text{C}$  n.m.r. spektroskopije. Istraživanja karboniumskih, karbenskih i karbanionskih reakcija cikličkih i policikličkih sistema, vršena na Institutu »Ruđer Bošković«, razvila su u našoj sredini fizikalno-organsku kemiju kao zasebnu disciplinu.

#### 1.7.4. Sinteze i kemija derivata adamantana

Triciklički  $\text{C}_{10}$  ugljikovodik adamantan sastoji se od tri cikloheksanska prstena u konformaciji sedla i ima strukturu kristalne rešetke dijamanta; zbog svoje krute, izuzetno stabilne i visoko simetrične strukture, adamantan i njemu slične (tzv. adamantoidne) strukture, idealni su modeli za proučavanje korelacije struktura-reaktivnost.

U Institutu su razrađeni sintetski putovi do novih adamantoidnih spojeva i njima srodnih cikličkih sistema na kojima su studirane karboniumionske, karbanionske, karbenske i reakcije slobodnih radikala. Ispitivanja su pregrađivanja homoadamantanskog skeleta pod različitim uvjetima, s osobitim osvrtnom na detekciju intermedijera (markiranje sa  $^3\text{H}$  i  $^{13}\text{C}$ ), određivanje strukture i stereokemije produkata, te tumačenje prijelaznih stanja reakcija.

Studirane su termolize tercijarnih policikličkih hipodrita i intramolekularne C-alkilacije rezultirajućih intermedijera. U okviru ispitivanja intramolekularnih reakcija adamantanskih karbena, pripremljen je ugljikovodik koji sadrži 2 ugljikova atoma, kojega su sve četiri veze usmjerene u istu hemisferu.

#### 1.7.5. Neuobičajene i modificirane komponente nukleinskih kiselina

Makromolekule nukleinskih kiselina izgrađene su od monomernih jedinica u kojima je šećerna komponenta (riboza ili deoksiriboza) vezana preko svog C-1 atoma na dušik pirimidinske ili purinske baze (nukleozidi), a preko svoje hidroksilne grupe(a) sa fosforom kiselinom (nukleotidi).

Nalazi da neke nukleinske kiseline sadrže fragmente u kojima je šećerna komponenta vezana na »neuobičajene« dihidropirimidinske baze, te da ti fragmenti

dolaze na isturenim dijelovima molekule (tzv. dihidrouridinska petlja), izazvali su živ interes zbog nepoznavanja biološkog značenja i uloge tih fragmenata. Organskokemijski pristup toj problematici započeo je u Institutu »Ruđer Bošković« sa sintetskim radovima iz reda pirimidina i njegovih tio-derivata, da bi se postepeno proširio na kemiju i stereokemiju neuobičajenih mono- i oligo-nukleozida i -nukleotida. Sintetizirani su brojni dihidro-tio- i amino-analogoni nukleozida, a naročita je pažnja posvećena 5,6-dihidro derivatima uridina i timina. Ispitivani su uvjeti i sposobnosti transformacije 5,6-dihidro-nukleozida u anhidro i azabicyklo strukture. Sintetizirani su i konformacijski analizirani alifatski analogoni deoksi-uridina i -timidina koji su ciklizirani u nove tipove bicykličkih sistema s hetero-atomom u prstenu.

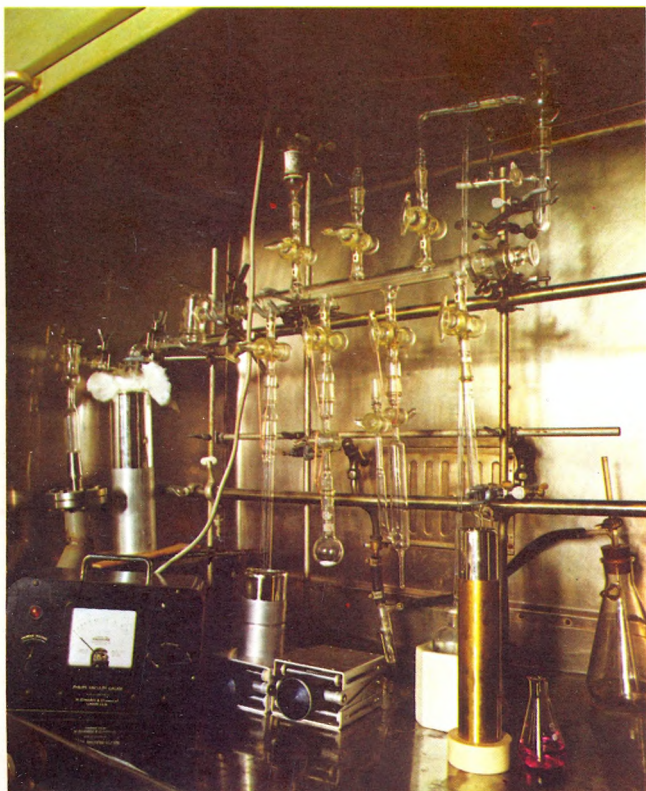
#### 1.7.6. Šećeri i njihovi konjugati

Istraživanja na području kemije šećera proistekla su iz rezultata metaboličkih studija biogenih amina; prepoznavanje nekih od tih metabolita kao konjugata D-glukuronske kiseline potaklo je razradu sintetskih putova do spojeva šećer-organska kiselina, u kojima je C-1 hidroksil grupa šećera povezana esterski s karboksil-funkcijom organske kiseline (tzv. glikozil esterska veza). Istraživanja su proširena sintezama glikozil estera amino kiselina i peptida kao potencijalnih intermedijera u nekim enzimskim reakcijama. Studirana je reaktivnost glikozil esterske veze (inter- i intra-molekularne esterifikacije i aminolize), i to obzirom na strukturu i anomernu konfiguraciju šećerne komponente, kao i na raspored funkcionalnih grupa u aminokiselinskom, odnosno peptidnom ostatku.

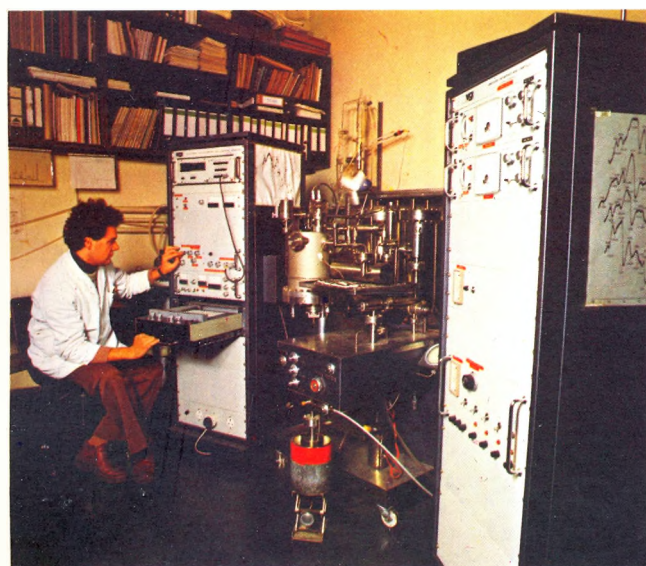
U okviru suradnje sa SAD, razvila se u Institutu kemija aminošećera koji su danas, s obzirom na svoju prisutnost u glikoproteinima, glikolipidima i nekim antibioticima u centru pažnje mnogih laboratorija. Studirane su oksidacije acetamidoheksoza u odgovarajuće  $\gamma$ -laktone, te reakcije (eliminacija, izomerizacija) kojima ti laktoni podliježu. Nađeno je da nezasićeni aminošećeri reagiraju s purinskim bazama uz 1,4-pregradnju, dajući nezasićene nukleozide sa bazom na C-4 atomu šećera.

#### 1.7.7. Peptidi i antibiotici

Ta su se istraživanja razvila najvećim dijelom iz suradnje s tvornicom farmaceutskih i kemijskih proizvoda »Pliva«. Treba istaći da su se baš u toj suradnji,



Vakumski uređaj za sintezu spojeva markiranih radioaktivnim izotopom ugljika  $^{14}\text{C}$



Fotoelektronski spektrometar za mjerenje ionizacijskih energija molekula



Polarografska metoda određivanja površinski aktivnih tvari u prirodnim i otpadnim vodama

često iz vrlo konkretnih i rutinskih zadataka, razvila fundamentalna istraživanja koja su urodila patentima, doktorskim disertacijama i znanstvenim publikacijama.

Sintetska peptidska kemija na Institutu provedena je klasičnim metodama i metodom krute faze. Sintezom je obuhvaćen velik broj biološki aktivnih ili potencijalno biološki interesantnih peptidnih struktura, kao npr., strukturni izomeri ponavljajuće pentapeptid jedinice iz makromolekule staničnog zida bakterije, analogoni hormona bradikina, oktapeptid sekvence B<sup>23-30</sup> lanca čovječjeg insulina, peptidne strukture sa ugrađenim, konformacijski definiranim cikloheksanamino kiselinama, odnosno azabicikloalkan derivatima, polifunkcionalni tripeptidi od značenja kao hormoni rasta, itd.

Na području antibiotika studirana je kemija  $\beta$ -laktamskih struktura, s osobitim osvrtom na polusintetske peniciline i cefalosporine. Radilo se na modifikaciji molekule tetraciklinskih antibiotika i studirane su stereospecifične hidrogenolize tog tipa spojeva; razrađen je postupak za dobivanje antibiotika rondsomicina i doksiciklina.

Sinteze većine spomenutih peptida i antibiotika prijavljene su kao patenti i nakon toga objavljene u znanstvenoj literaturi.



## 1.8. Prirodne makromolekule: izolacije, strukture i reaktivnost

### 1.8.1. Uvod

Nukleinske kiseline - čija struktura dvostruke zavojnice omogućuje svoju vlastitu replikaciju, dakle nasljeđivanje genetičke informacije, te proteini - kao osnovni nosioci života i biokemijskih reakcija područja su istraživanja i znanstvenih radnika Instituta »Ruđer Bošković«. U ovom poglavlju govori se o istraživanjima na tim područjima koja su, po pristupu, uglavnom biokemijskog karaktera, tj. polaze od izolacije makromolekule iz prirodnog materijala s konačnom svrhom da se ispituju njene reakcije pod biološkim uvjetima. Uz nukleinske kiseline i proteine riječ je i o makromolekuli specifičnoj za jednostanični organizam bakterije, tzv. peptidoglikanu.

### 1.8.2. Nukleinske kiseline

Otkrićem prostorne građe deoksiribonukleinske kiseline (DNA), nosioca nasljednih svojstava živih organizama, rođena je 1953. nova znanstvena disciplina: molekularna biologija. Već nekoliko godina nakon tog otkrića, u Institutu »Ruđer Bošković« formirala se mala jezgra istraživača koja - u skladu s općim tendencijama istraživanja Instituta u tom periodu - počinje ispitivati djelovanje zračenja na DNA.

Iako je već bilo dobro poznato da zračenje izaziva oštećenje svake molekule, njegovo djelovanje na gigantsku molekulu DNA bilo je osobito važno s obzirom na njezino značenje kao nosioca genetičke informacije. Rezultati istraživanja pokazali su da, za razliku od ultravioletnog zračenja, X-zračenje uzrokuje depolimerizaciju ili tzv. »degradaciju« bakterijske DNA. Na problem degradacije DNA vraćalo se u proteklih 20 godina nekoliko istraživačkih grupa u Institutu »Ruđer Bošković«, kao i u drugim laboratorijima u svijetu, s konačnom svrhom da se razjasni biokemijska osnova te degradacije ili pak biološko značenje toga procesa.

Spoznaja da se nukleinske kiseline kao i ribosomi (makromolekularni kompleksi koji sadrže nekoliko molekula ribonukleinske kiseline (RNA) i nekoliko desetaka vrsta proteina) mogu izolirati i na njima proučavati neke od njihovih funkcija, usmjerilo je

dio istraživanja na nukleinskim kiselinama u Institutu »Ruđer Bošković« na definiranje sisteme. Tako se na izoliranim strukturama ribosoma istražuje koji je dio toga kompleksa stvarno odgovoran za ribosomsku funkciju, tj. reakciju polimerizacije amino-kiselina; otkriveno je da je tek oko 1/8 volumena ribosoma odgovorno za taj proces. U idućoj fazi objekt istraživanja postaju »male« molekule transfer-ribonukleinske kiseline (tRNA) koje »čitaju« genetičku šifru na ribosomima i služe kao donori amino-kiselina u sintezi proteina; na tRNA<sup>tyr</sup> (tRNA specifična za aminokiselinu tirozin) identificirana su mjesta odgovorna za neke njene funkcije u kompleksnom procesu biosinteze proteina.

Kako su mnogi antibiotici specifični inhibitori biosinteze proteina, u okviru suradnje »Pliva«-IRB ispitan je cijeli niz derivata antibiotika eritromicina na tu aktivnost.

### 1.8.3. Proteini

Istraživanja proteinskih molekula počinju u Institutu »Ruđer Bošković« tek potkraj šezdesetih godina, i to prvo kao nastavak istraživačkih radova u celularnoj biokemiji i imunologiji. Tako je utvrđena ovisnost seroloških svojstava antieritrocitnih protutijela o naboju antigena eritrocita. Kao proširenje radova u kemiji šećera, vršena su kinetička ispitivanja hidrolize eter i ester glukuronida s enzimom  $\beta$ -D-glukuronidazom, što je pridonijelo boljem poznavanju specifičnosti tog enzima s obzirom na tip glikozidne veze supstrata.

Pravi poticaj istraživanju proteina daje industrija (u prvom redu »Pliva«) koja pokazuje interes za enzime kao sastavne komponente nekih proizvoda ili kao biogene katalizatore u proizvodnim procesima. Polazeći redovito od izolacije iz prirodnog materijala, preko niza stupnjeva pročišćavanja, proteinskim su molekulama određivana fizikalno-kemijska i biološka (katalitička) svojstva. Izolirani su, isto tako i karakterizirani ovi enzimi: dekarboksilaza diaminopimelinske kiseline (sudjeluje u biosintezi aminokiseli-

ne lizina) iz bakterije *Micrococcus glutamicus*, ribonukleaza iz kvasca *Saccharomyces cerevisiae*, te amilaza i dvije proteaze iz mikroorganizama *Streptomyces rimosus*. Iz čovjekovih eritrocita dobiven je preparat angiotenzinaze, za koji je ustanovljeno da sadrži dva enzima koji su specifični po mjestu cijepanja peptidne veze u hormonu angiotensin II.

Istraživanja unutar ugovora »Pliva«-IRB o sintezi ljudskog insulina modifikacijom svinjskog insulina pokazala su da reverzibilna modifikacija argininskog ostatka u molekuli insulina omogućuje da enzim tripsin više ne »prepoznaje« tu aminokiselinu i cijepa insulin samo na jednom mjestu peptidne veze, dajući desalanin-insulin kao jedini produkt.

## 1.8.4. Peptidoglikan

Stanica bakterije obavijena je staničnim zidom koji joj daje čvrstoću i oblik te regulira ulaz tvari u organizam i njihov izlaz; po kemijskoj građi to je golema polimerna makromolekula (tzv. peptidoglikan) koja se sastoji od međusobno umreženih disaharid-peptid-jedinica specifične strukture. Primjenom  $^{14}\text{C}$ -obilježenih prekursora otkriveno je da dodatak penicilina kulturi bakterije (*Brevibacterium divaricatum*) dovodi do izlučivanja još neumreženih peptidoglikanskih lanaca u medij kulture. Utvrđeno je da osnovna ponavljajuća jedinica tih lanaca - disaharid - pentapeptid - ima izrazito imunostimulativno djelovanje, što je uzrokovalo proširenje istraživanja na tom polju s imunokemijskog, biokemijskog i organsko-sintetskog aspekta.

## 1.9. Reakcije i mehanizmi bioloških procesa

### 1.9.1. Uvod

Neke fundamentalne biološke reakcije, biološka sudbina organizmu prirodnih, ili pak njemu stranih, tvari (tj. metabolizam tih tvari), kao i stupanj reakcije u metaboličkom procesu, proučavani su u Institutu »Ruđer Bošković« s raznim svrhama, s raznim pristupima, i raznim organizmima. U ovom se poglavlju iznosi kratak pregled rezultata na tom području koji ujedinjuju nekoliko problematika i obuhvaćaju vrlo širok dijapazon eksperimentalnih metoda i tehnika.

### 1.9.2. Struktura i funkcija fotosintetskog aparata

Fotosinteza je osnovni biološki proces pretvaranja sunčane energije u kemijsku, koji je ujedno početni i *de facto* jedini izvor hrane na Zemlji. Istraživanja na tom području razvila su se u Institutu »Ruđer Bošković« iz elektronsko-mikroskopskih studija djelovanja ionizirajućeg zračenja i nekih štetnih agensa (npr. inhibitori disanja) na ultrastrukturu stanice, ponajviše biljne.

Od 1963. težište elektronsko-mikroskopskih istraživanja prebacuje se na plastide, tj. na posebne centre (organele) biljne stanice u kojima se zbiva fotosintetski proces. Prvo se ispituje djelovanje ionizirajućeg zračenja na ultrastrukturu plastida općenito. Plastidi su izvanredno osjetljivi na mnoge činioce okoli-

ša (svjetlo, temperatura, ishrana biljke, herbicidi) koji mijenjaju njihovu ultrastrukturu i fotosintetsku aktivnost (etioplasti, kloroplasti, kromoplasti). Istražen je utjecaj mutacije plastida u drveća (tip varijeteti Aurea) djelovanjem intenzivnog svjetla, te proces starenja plastida u prirodnim i eksperimentalnim uvjetima. Definirani su neki činioци okoliša koji povratno ili nepovratno inhibiraju diferencijaciju plastida.

### 1.9.3. Serotonin, metabolizam i zračenje

Kad je, početkom pedesetih godina, otkriveno da biogeni amin serotonin (5-hidroksitriptamin) ima izrazito radioprotektivno djelovanje, zanimanje za taj spoj, za koji se već znalo da u organizmu ima bitnu ulogu pri regulaciji raznih fizioloških i patoloških procesa (prijenos živčanih impulsa, kontrola krvnog tlaka, duševne i neurološke bolesti), još je pojačano. Sredinom pedesetih godina u Institutu »Ruđer Bošković« počinju interdisciplinarna istraživanja na metabolizmu serotonina i njegovoj ulozi u radijacijskoj bolesti.

Primjenom  $^{14}\text{C}$ -obilježenog serotonina ustanovljeno je da je metabolizam toga biogenog amina u organizmu sisavaca mnogo kompleksniji nego što se dotad



smatralo; posebno je važno bilo otkriće 5-hidroksitriptofola kao metabolita serotonina (koji se *in vivo* izlučuje kao konjugat *D*-glukuronske kiseline i kao *0*-sulfat), za koji je utvrđeno da nastaje iz prekursora (5-hidroksiindolacetaldehid) koji je zajednički i glavnom metabolitu serotonina - 5-hidroksiindolactenone kiseline. U idućoj je fazi otkriveno da preparacije mitohondrija jetre metaboliziraju serotonin i neke druge biogene amine (ariletilamine), razgradnjom alifatskog lanca u odgovarajuće aldehide i kiseline, koji imaju jedan C-atom manje nego prekursor. Treće je otkriće da indolalkilamini podliježu reakciji hidroksilacije alifatskog lanca, kao i kateholamini (dopamin-noradrenalin), iako manje.

Istraživanja učinka radijacije na organizam sisavaca pokazala su da ona izaziva biokemijske promjene serotonina (i noradrenalina) u mozgu, te da se te promjene mogu modificirati neurofarmacima. Otkriveno je da se serotonin, nakon prodiranja iz krvi ili cerebrospinalnog likvora u mozak, vrlo brzo razgrađuje u 5-hidroksiindolactenu kiselinu, koja se zatim prenosi u krvni optok. Ispitivan je utjecaj zračenja i na druge biogene amine (kateholamini), kao i radio-protektivno djelovanje spojeva kemijske strukture slične serotoninu. U kasnijoj fazi, uz serotonin se proučavaju i drugi neurotransmiteri, a težište istraživanja sve se više prebacuje na mozak. Taj dio neurobioloških i neurofarmakoloških istraživanja prikazan je u poglavlju »Biomedicinska istraživanja«, potpoglavlje 2.7. Neurofarmakologija.

#### 1.9.4. Metabolički procesi u biljkama

Interdisciplinarna istraživanja biotransformacije *D*-aminokiseline u biljkama razvila su se iz proučavanja procesa biološke transmetilacije (univerzalne biološke reakcije na svim razvojnim stupnjevima) kao jedne od reakcija u toku biosinteze alkaloida nikotina u duhanu. Primjenom <sup>14</sup>C-obilježenih spojeva ustanovljeno je da se *D*-aminokiseline u višim biljkama konjugiraju s malonskom kiselinom u odgovarajuće *N*-malonil konjugate *D*-konfiguracije; komparativna ispitivanja na višim i nižim biljkama pokazala su općenitost te reakcije i njeno *faksonomsko* značenje.

Metabolizam i funkcija indolactene kiseline - biljnog hormona rasta - proučavani su u višim (*in vivo* i *in vitro*) i nižim (u algama) biljkama. U višim biljkama ispitivana je biogeneza tog fitohormona s obzirom na aminokiselinu triptofan i biogeni amin triptamin kao prekursore; nalaz da je u oba slučaja triptofol, od-

nosno njegov konjugat sa *D*-glukozom, glavni metabolit potakao je istraživanja mehanizama po kojima viša biljka regulira endogenu koncentraciju hormona.

#### 1.10. Elektronička mjerenja, analitički i računarski postupci

Znanstvenoistraživački rad na području elektroničkih mjerenja, analitičkih i računarskih postupaka na Institutu »Ruđer Bošković« obavljao se u proteklih 30 godina kako bi se optimizirale funkcije određenih elektroničkih elemenata, sklopova i struktura, odnosno kako bi se otkrili novi funkcionalni anglomerni.

Tehnološka osnova funkcionalnih elektroničkih struktura u tom se razdoblju mijenjala od cijevne preko tranzistorske i integrirane do tzv. large scale integration.

Osnovni problemi povećanja osjetljivosti, brzine i razlučivanja elektroničke instrumentacije i mjernih sustava ostali su, u biti, nepromijenjeni. Oni su se svodili, u krajnoj liniji, na postizanje struja nabijenih čestica ili elektromagnetskog zračenja specifičanog oblika i energije, s jedne strane, i na mjerenje oblika i energije struja nabijenih čestica ili elektromagnetskog zračenja, s druge strane.

Kao znanstveni aparat upotrijebljene su bile metode eksperimentalne i teoretske fizike, odnosno primijenjene matematike.

Znanstvena istraživanja - iako su, u osnovi, problemi elektronike problemi primjene znanja - često su pri tome imala izrazito teoretsko značenje.

Predmet istraživanja može se po suvremenom gledanju podijeliti na analogne i digitalne probleme i načine njihova rješavanja. U biti, riječ je o podjeli na obradu električnih signala u obliku više kontinuiranog ili pretežno diskretnog karaktera, u smislu klasične fizike. Kao znanstveni, rješavani su i problemi povezivanja tih grana, detaljnom razradom analognog-digitalne konverzije.

Znanstvena je djelatnost na području elektroničkih mjerenja, analitičkih i računarskih postupaka poglavito bila koncentrirana u Grupi za elektroniku, Odjelu elektronike, odnosno u Laboratoriju za elektroniku i elektroničke sisteme. Sva se djelatnost može podijeliti na ova područja: elektroničke komponente i sklopovi (nerelaksacioni), impulsi elektronički sklopovi, analognog-digitalna konverzija, amplitudni analizatori i vremenska analiza, obrada podataka i računari, nuklearno-magnetska rezonancija i akcelerski problemi.



Već od samog početka u Institutu su građeni složeni elektronički uređaji za istraživanja u fizici i kemiji

Rad na *elektroničkim komponentama i sklopovima (nereleksacionim)* obuhvaćeno je istraživanje i svojstava nekih temeljnih problema elektroničkih komponenta i sklopova od opće važnosti.

Istraživana su svojstva termionske diode i triode kao logaritamskog elementa.

Metodama nelinearne analize istražena je stabilnost kvaziharmonijskog oscilatora na statičke i stacionarne pomake radne točke. Osjetljivost amplitude i osjetljivost frekventne devijacije razmotrene su kao funkcije položaja radne točke na nelinearnom elementu, pa su određene točke u kojima dolazi do interne nelinearne kompenzacije frekventne devijacije za diferencijalne pomake radne točke.

Teoretski je analizirana koherentna detekcija električnih signala u prisutnosti šuma, sa svrhom da se odrede optimalni uvjeti koherentne detekcije. Određena je funkcionalna zavisnost omjera izlazni signal/šum o omjeru ulazni signal/šum, omjeru koherentni val/šum i o odnosu faznog kuta između ulaznog signala i koherentnog vala. Uz povoljno odabra-

ne uvjete omjer izlazni signal/šum približno je linearna funkcija omjera ulazni signal/šum, bez obzira na veličinu omjera ulazni signal/šum.

Teoretska i eksperimentalna istraživanja s područja *impulsnih elektroničkih sklopova* služila su kao osnova za znanstveni i praktički rad na kompleksnijim impulsnim elektroničkim funkcionalnim anglomeratima.

Analizirani su valni oblici vodljive faze, astabilnog, bistabilnog i monostabilnog multivibratora sa RC-komponentama. Kao zajedničko svojstvo svih triju sklopova dokazana je pojava sinusoidnih titranja, ako je pojačanje u petlji povratne veze jednako jedinici.

Analiziran je predloženi novi tip magnetski vezanog multivibratora, kojem se može mijenjati frekvencija pomoću istosmjerne upravljačke struje.

Teoretski je istražena granica brzine brojenja s cijevi EIT. Osnova teorije jest analiza pojava pri prijelazu snopa od jednog do drugog stabilnog položaja za jedan prijelaz, te za niz sukcesivnih prijelaza u procesu brojenja. Eksperimentalno i teoretski ustanovljena su metastabilna stanja u procesu brojenja.

Što se tiče sklopova za brojenje s poluvodičkim elementima, u prvom je redu rješavan problem razlučivanja tih sklopova. Određeni su načini da se dekada učini idealno brzom, dakle da joj razlučivanje bude jednako razlučivanju sadržanih bistabila.

Uspoređivanjem signifikantnih parametara brzih koincidentnih sklopova pokazano je da koincidentni sklopovi s tunel-diodama u koincidentnom stupnju postižu najmanja vremena razlučivanja. Analiziran je dinamički opseg i stabilnost vremena razlučivanja koincidentnog stupnja s tunel-diodom.

Analizirane su metode poboljšanja točnosti određivanja vremena pojave slučajnih impulsa, pri mjerenju slučajnih impulsa u nanosekundnom području elektroničkim metodama. Istražena je ovisnost vremena razlučivanja o statističkim parametrima slučajnih impulsa, uz pretpostavku idealno brzih diskriminacionih sklopova. Istražene su mogućnosti poboljšanja vremenskog razlučivanja optimalnim filtriranjem impulsnih signala.

Istražen je najpovoljniji raspored polova funkcije prijenosa impulsnih pojačala s povratnom vezom i monotonim odzivom, da se dobije najkraće vrijeme porasta pojačala. Istražen je utjecaj nelinearnosti elektroničkih elemenata na odziv i nelinearnost impulsnog pojačala s povratnom vezom.



Obraden je utjecaj parametara tranzistora na vrijeme porasta impulsnog pojačala. Istraživane su metode za skraćanje vremena porasta pojačala.

Problematika *analogno digitalne konverzije* obrađena je, sa stanovišta povećanja brzine i razlučivanja uz smanjenje pogreške kod digitalne reprezentacije analognih veličina (kontinuiranih varijabli).

U okviru rješavanja problema prelaska na digitalnu obradu podataka, kao jedan od prvih problema, razmatrane su metode za analogno digitalnu konverziju. Rezultati su toga istraživanja detaljna analiza pogrešaka koje nastaju u toku konverzionog procesa, a sasvim su općenito primijenjene. Istraživane su mogućnosti skraćanja vremena analogno digitalne konverzije, na principu linearnog izbijanja kondenzatora za pamćenje. Ispitane su dvije alternative, kad se vremenska ušteda postiže tako da se izbijanje umjesto jednom rampom vrši sa dvije. Analizirane su moguće pogreške predloženog sustava sa svije rampe. Pokazano je da se sistem daje proširiti na tri rampe.

Razrađena su svojstva analogno digitalnih konvertora sa sukcesivnom aproksimacijom, koji pružaju neke prednosti u sistemima za multiparametarsku analizu. Pokazalo se da je simultani rad sa više konvertora jednostavniji. Vrijeme analize skraćeno je i neovisno o amplitudi ulaznog signala. Radi otklanjanja loše diferencijalne linearnosti konvertora sa sukcesivnom aproksimacijom, vrlo je općenito analiziran utjecaj varijacija napona na produživaču, kao i napona naponskih mjera na diferencijalnu linearnost. Ta je analiza omogućila da se izračunaju teoretski spektri diferencijalne linearnosti.

Temeljito je obrađen problem generiranja impulsa, u analogno digitalnoj pretvorbi vremena. Za točno mjerenje intervala reda mikrosekunde riješen je problem generiranja nizova od više stotina impulsa u nanosekundnom području.

Istraživanja na području *amplitudnih analizatora* bila su dugi niz godina osnova za dobivanje kriterija za koncipiranje novih složenih mjernih aparatura. *Vremenska analiza* snažno je sredstvo u ocjeni dinamičkog kapaciteta složenih elektroničkih struktura za obradu podataka.

Ispitivana je strujno koincidentna feritna memorija kapaciteta 1024 riječi, koja je dio amplitudnog analizatora u cijevnoj izvedbi. Razrađene su metode koje se mogu iskoristiti za povećanje odnosa signal/smetnja, razlučivanje po vremenu i kompenzacije smetnje.

Istražena su opća svojstva sklopova s poluvodičkim elementima za 256 kanalnu feritnu memoriju, i pokazano je da je za primjenu u 256-kanalnom ampli-

tudnom analizatoru optimalno upotrijebiti strujno koincidentnu memoriju. Razrađena je metoda računanja tolerancija pobudnih struja za koincidentnu memoriju.

Istraživano je zapisivanje i čitanje podataka u sistemu s brzim feritnim memorijama (2D, 3D). Analizirana su dopuštena odstupanja koincidentnih struja pri pojedinim izvedbama memorija. Pokazano je, što se tiče sistema s linearnom selekcijom adrese i generatora bipolarnih struja, da se amplitude koincidentnih struja mijenjaju s temperaturom, kompenzirajući temperaturne promjene svojstava feritnih jezgara.

Ispitane su mogućnosti programiranja analizatora pomoću čvrstih (hardware) programa. Predložen je programator koji daje izvršne i kontrolne signale u druge dijelove analizatora. Različite funkcije izvršnih signala pojedinih perioda na različitim programima dobivaju se upotrebom nivoovskih (razinskih) kontrolnih signala i bistabilnih elemenata za praćenje programa.

Analizirani su sklopovi s poluvodičkim elementima za magnetostriksijsku memoriju. Razmatrane su logika i sklopovi aritmetičkog kruga cirkulirajuće memorije.

U nastavku istraživanja na svojstvima magnetostriksijske memorije detaljno su obrađeni problemi ispisivanja njenog sadržaja u digitalnom i analognom obliku. Određen je odnos pogreške koja nastaje pri analognom ispisivanju sadržaja prema pogrešci koja nastaje pri analizi.

Detaljno su istražene pogreške mjerenja amplitudnih raspodjela nasumce dolazećih impulsa, uvjetovane konačnim trajanjem impulsa i blokiranjem mjernog sustava u procesu amplitudne analize. Razmatrani su mjerni sustavi koji imaju brze krugove za memoriranje i aritmetičke operacije sa brojčanim podacima, a osobito sustavi s feritnim i magnetostriksijskim memorijama. Ispitane su teoretske granice brzine i točnosti. Nađeni su uvjeti koje moraju zadovoljiti krugovi za analizu i memoriranje, kao i logika mjernih sistema. Analizirane su metode za redukciju gubitaka podataka. Pokazano je da se mogu znatno smanjiti gubici, a napose ako je prosječan broj impulsa koji dođu na ulaz mjernog sustava u periodu blokiranja manji od jedan. Također je utvrđeno da se mogu djelotvorno smanjiti gubici, neovisno o broju dolazećih impulsa, ali samo ako je amplitudna razdioba koncentrirana oko jedne vrijednosti.

Zbog konačnog trajanja nasumce dolazećih impulsa, nastaje superpozicija, što uzrokuje pogreške u mjerenju razdioba pa su ocijenjene te pogreške.

Istražena je registracija i mjerenje vremenskih intervala nestacionarnog slučajnog procesa, za procese sa brzo promjenljivom funkcijom gustoće i procese s velikom učestalošću. Registracioni sistem je aproksimiran sistemom s konstantnim mrtvim vremenom registracije. Pokazano je da se, pod uvjetima realnog registracionog sistema, može proces kod kojega su vjerojatnosti registracije podataka u uzastopnim intervalima zavisne veličine prikazati procesom s nezavisnim vjerojatnostima registracije u smanjenim intervalima registracije. Obradeni su registracioni sistemi s promjenljivim vremenom kvantizacije. Određene su vjerojatnosti izlaza podataka iz sistema za kvantizaciju, koji se koriste pretvaračima s vremenom kvantizacije zadanim bilo stohastičkom bilo determinističkom zavisnošću. Određene su vjerojatnosti zauzetosti, vjerojatnosti gubitaka i očekivani iznos gubitaka u sistemu za kvantizaciju, koji se koristi pretvaračima s konstantnim vremenom kvantizacije. Istražene su brze odvojne memorije za upis podataka vremenskih intervala i prijenos podataka u druge, redovito veće i sporije, memorije.

Rad na *obradi podataka i elektroničkim računarima* prirodno je proizašao iz prethodnih radova na problematici amplitudnih analizatora i vremenskoj analizi.

Analizirano je vizualno prikazivanje digitalnih podataka i utvrđeno da jedinica za osciloskopski prikaz ima niz prednosti pred drugim perifernim jedinicama digitalnih računala.

Obradena je organizacija i sklopovi jedinice za osciloskopski prikaz digitalnih podataka.

Obradeno je pamćenje digitalnih podataka na magnetskoj vrpici, proces čitanja i pisanja, metode zapisanja, standardni formati i organizacija.

Istraženi su problemi koncepcije i izvođenja prijenosa digitalnih signala u *interface*-sistemu, koji služi za prikupljanje i obradu podataka, nuklearnih mjerenja. Obradene su digitalne veze kako između jedinica *interface*-sistema, tako i između jedinica i procesnog elektroničnog digitalnog računala.

Istražene su mogućnosti primjene poluvodičkih memorija za realizaciju kombinacionih i sekvencijskih sklopova i načini minimizacije veličine potrebne memorije. Na osnovi svojstava upravljačkih sklopova i principa sinteze automata analizirane su definirane specijalizirane strukture pogodne za realizaciju tipičnih upravljačkih sklopova.

U okviru istraživanja metodâ razvoja programa za mikroračunala na miniračunalu, razmotrene su mogućnosti realizacije programske podrške na drugim računalima. Načinjen je razvoj programa za mikroračunalo uz pomoć među asemblera - simulatora i jedinica za upis u memoriju miniračunala izvedene na miniračunalu.

Istraživanja na području *detekcije nuklearno-magnetske rezonancije* vršena su radi rješavanja konkretnih problema, ali su način i doseg provedenih istraživanja značajno premašili potrebe postavljenih zadataka.

Radi stabilizacije omjera frekvencije i magnetske indukcije kod NMR-spektrometara, analizirani su problemi održavanja rezonantnog uvjeta spektrografa. Razrađene su osnovne karakteristike regulacionog sustava.

U okviru istraživanja granica osjetljivosti spektrometara za nuklearnomagnetsku rezonanciju, izračunata je veza između razlučivanja i osjetljivosti, kao i uvjeti održavanja najveće moguće fazne i amplitudne stabilnosti i najmanjeg faktora šuma. Izvedena je jednadžba za minimalni detektibilni broj jezgara.

Istraživana je osjetljivost i frekvencijska stabilnost apsorpcionih detektora nuklearnomagnetske rezonancije.

Istraživano je mjerenje slabih magnetskih polja dinamičkom polarizacijom protona. Analiza razlučivanja disperzione metode, model za slične analize ostalih NMR-sistema za mjerenje slabih magnetskih polja, dala je kao rezultat ovisnost razlučivanja o različitim parametrima sistema.

Razmotrene su smetnje koje se javljaju pri prijemu *spinecho* signala i mogućnosti za njihovo otklanjanje kod različitih konfiguracija prijemnog sustava.

Istraživanja na području *akceleratorskih problema* provedena su većinom u obliku specijalizacije za osposobljavanje kadrova, ali su dala dalekosežnije rezultate.

Za ciklotronski snop pri pulsnom pogonu eksperimentalno je ustanovljeno, mjerenjem struje cilja *sampling*-tehnikom, da je sačinjen od pulsova mnogo duljih nego što bi se teoretski zaključilo, uz pretpostavku da postoji jednoliko električno polje blizu izvora iona.

Ustanovljeno je da dužina pulsa raste na većim udaljenostima mete i da se pulsovi ponekad cijepaju na dva odvojena pulsa. Promjene oblika pulsa uzrokovane su pomacima putanja, što je ustanovljeno teoretskom analizom.



Istraživanja s područja stabilnoga staza mikrotrona rezultirala su u značajnim korekturama dotadašnjih rezultata i definicije stabilnog područja, kao i optimalnog položaja izvora elektrona u mikrotronu. Posljedica tih korektura bila je povećanje struje i energije čestica ubrzanih mikrotronom.

Predložen je i razrađen sustav za uzimanje fazne informacije iz sinusnog vala uz primjenu povratne veze. Izračunat je odnos, između kuta fazne informacije i parametara sistema, za razne amplitude sinusnog vala. Određen je kut pomaka fazne informacije radi promjene amplitude sinusnog vala i nađeni uvjeti minimalne zavisnosti.

## 1.11. Matematičke metode fizike

U znanstvenim istraživanjima u fizici općenito, a posebno teorijskoj fizici, matematičke metode zauzimaju istaknuto mjesto. Poznato je, naime, da se formulacija i primjena fizikalnih zakona može ostvariti samo pomoću matematike. Stoga se znatna pažnja posvećuje radu na usvajanju i razvijanju suvremenih matematičkih metoda koje su potrebne za primjenu u suvremenim disciplinama fizike (fizici čestica, nuklearnoj fizici, fizici čvrstog stanja), kao i u klasičnim (mehanici, elektrodinamici i drugim).

Potrebe koje se pri tom javljaju daleko su iznad naših mogućnosti.

Rezultati rada malobrojne grupe matematičara u Grupi za matematičke metode fizike na Institutu »Ruđer Bošković« većinom su objavljeni u suradnji s fizičarima i drugim istraživačima koji se koriste metodama fizike i matematike. Nije moguće opisati sve probleme koji su u tim istraživanjima rješavani. Navest ćemo samo neke.

Razvijena je poopćena teorija tenzora i vektora koja je zatim bila primijenjena na istraživanja spinora. Rezultat je bio da je prvi put neprotuslovno, sustavno i općenito formulirana spinorna analiza, jer se pokazalo da spinori, i klasični i relativistički, nisu ništa drugo doli vrlo jednostavni dvodimenzionalni vektori poopćene sheme, te da je njihov vektorski prostor karakteriziran invarijantnim fundamentalnim i transpozicionim operatorima. Na osnovi toga bilo je moguće dokazati čitav niz relevantnih osobina i zakonitosti, kojima se ti matematički objekti podvrgavaju. Rješavani su, dalje, problem određivanja faza u teoriji rendgenske difrakcije, optimizacija gorivog ciklusa kod nuklearnih reaktora, volumni problem računa elektrostatičkog potencijala, problemi linearne algebre itd. Većinom je bilo potrebno izraditi odgovarajuće kompjuterske programe za pojedine probleme, a u nekim su slučajevima izrađeni i opsežni sistemi programa.

## 2. BIOMEDICINSKA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Uvod

Istraživanja na području biomedicine bila su, u skladu sa zahtjevima društva u prvim godina rada Instituta »Ruđer Bošković«, uglavnom usmjerena k upoznavanju bioloških aspekata primjene nuklearne energije. Postignuti su se rezultati uključivali u opći fond znanja na tom području, što je urodilo porastom društvene uloge znanstvenih radnika i odgovarajućim domaćim i međunarodnim priznanjima. Veze između znanstvenih radnika Instituta i onih u zdravstvenim ustanovama tek su se uspostavljale.

Prva su istraživanja bila usmjerena k proučavanju utjecaja rendgenskog zračenja na organizam sisavaca, kako bi se utvrdili kriteriji za procjenu stupnja oštećenja predvidio ishod radijacijske bolesti i upoznale metode njenog sprečavanja ili liječenja. Procesi oštećenja i oporavka proučavali su se i na staničnim kulturama i bakterijama. Posebna se pažnja obraćala

funkcijama krvotvornog, živčanog i hormonskog sustava organizma, a na staničnom nivou promjenama makromolekula. Ta su istraživanja dala niz vrijednih priloga već nakon prvih pet godina rada, te se na području radiobiologije Institut afirmirao među srodnim znanstvenim ustanovama u svijetu. Zahvaljujući toj afirmaciji i sustavnoj politici stipendiranja i zapošljavanja vrijednih studenata humane i veterinarske medicine, biologije i srodnih struka, razvijala se kadrovska osnova. Naglo je poraslo specijalističko poznavanje metodologije i aktualne problematike znanstvenog rada, što je brzo unaprijedilo istraživačke mogućnosti i rezultate. Iz inozemnih znanstvenih ustanova dobiveni su čisti, srođeni sojevi laboratorijskih životinja i standardne kulture životinjskih stanica, te bakterija i virusa. Tako je formiran vlastiti uzgoj laboratorijskih životinja i banka staničnih kultura, što je bio pionirski pothvat u našoj zemlji.

### 2.2. Molekularna biologija

Rad na području molekularne biologije započeo je samo tri godine nakon otkrića strukture deoksiribonukleinske kiseline. Osnovno usmjerenje bilo je istraživanje radiobioloških problema na nivou stanice metodama biofizike, biokemije, mikrobiologije, citologije i genetike. Započeta su istraživanja virusa, bakterija i životinjskih stanica u kulturi. Već na početku rada otkriveno je da gama-zračenje razgrađuje deoksiribonukleinsku kiselinu u bakterijama i mnogo godina laboratorij je zadržao ugledno mjesto u svjetskim okvirima na istraživanju te pojave. U usporednim istraživanjima otkriveno je da gama-zračenje prouzrokuje razgradnju dijela ribonukleinske kiseline ozračenih bakterija. Fotorestauracija (oporavak pod utjecajem svjetlosti), kao aktualna problematika u to doba, također se istraživala u bakterijskim sistemima.

U istraživanjima mikrobijalne radiobiologije utvrđeno je da provirusni dio bakterijskog kromosoma - pod stanovitim uvjetima - može povećati otpornost bakterije-domaćina. Postavljena je teorija da ugi-banje ozračene stanice nije rezultat polaganog »gašenja« vitalnih funkcija nego da je to aktivan samodestruktivni proces.

Istraživala se i pojava pretvorbe provirusa u virus. Utvrđeno je da se prve faze razvojnog ciklusa bakteriofaga lambda (to je virus koji parazitira u bakterijama) odvijaju u sistemu *in vitro*, bez prisutnosti žive stanice, tj. u izoliranim frakcijama stanične membrane i stijenke. Na njih se virus adsorbira, i virusni se kromosom veže u obliku koji je otporan na enzime što vrše razgradnju. Virulentni ribonukleinski virus f2 preveden je u lizogeno (»pritajeno«) stanje, tako da je izazivao karakteristične promjene u inficiranim bakterijama.



## 2.3. Zračenje i stanične kulture

Kultura životinjskih stanica uvedena je u radiobiološkom laboratoriju ubrzo pošto je počela njena šira primjena u vodećim znanstvenim centrima u svijetu. Na staničnim kulturama utvrđeno da nukleinske kiseline popravljaju radijacijsko oštećenje, a taj se učinak osniva na iskorištavanju njihovih sastojaka (pretežno deoksiribonukleozida) koji ubrzavaju sintezu deoksiribonukleinske kiseline. Uz suradnju fizičara i radiokemičara u Institutu, u novije su doba razrađene metode za istraživanja na području neutronske radiobiologije. Određeni su osnovni parametri za djelovanje brzih neutrona na stanice i započeti su pokusi s neutronske zračenjem laboratorijskih životinja. Važno je otkriće da se oštećenja izazvana brzim neutronima u stanici ne mogu popravljati

deoksiribonukleotidima, što je još jedan dokaz o različitosti mehanizma neutronske radijacione lezije u usporedbi s rendgenskim i gama-zračenjem.

Iskustva stečena na području radiobiologije - i na staničnom i na nivou pokusne životinje - omogućila su angažiranje istraživača na organizaciji medicinske zaštite u vezi s gradnjom nuklearnih postrojenja u nas, na zaštiti od neutronske zračenja i na istraživanjima mogućnosti primjene neutronske zračenja radi liječenja tumora. Iskustva stečena radom u molekularnoj biologiji i genetici usmjerila su istraživače na područje genetičkog inženjerstva, za čiju je primjenu zainteresirano zdravstvo i privreda.

## 2.4. Imunologija i hematologija

Doprinosi znanstvenim spoznajama u prvih 5-6 godina utrli su put razvoju istraživanja imuniteta, tumora i funkcije krvotvornog tkiva, na kojima se i danas radi. U pokusima sa skotnim štakoricama, na primjer, otkriveno je da zračenje izaziva u tkivu potomaka

specifičnu imunološku nereaktivnost prema tkivima majke. Dokazano je da u miševa, štakora i zamorčadi ozračivanje mijenja antigeničnost pojedinih tkiva, ali da te promjene nisu specifične za zračenje jer nastaju i prilikom drugih vrsta oštećenja tkiva. Ubrizgavanjem limfnih stanica u ozračene primaoce prenesena je sposobnost za imunološki odgovor. U nastavku istraživanja o prijenosu stanica krvotvornog tkiva u ozračene primaoce, proučavani su imunološki metabolički i regulatorni procesi u vezi s presađivanjem koštane srži, te mogućnosti primjene presađivanja stanica koštane srži i limfnog tkiva pri liječenju leukemije. Također su se istraživale zakonitosti u presađivanju tkiva na modelima kožnih transplanata u miševa. Posebna se pažnja posvećivala dinamici imunološkog odgovora i njegovim regulacionim mehanizmima, mogućnostima manipuliranja imunitetom u smislu specifičnog slabljenja ili jačanja imunog odgovora, te vezi između zbivanja u imunološkom sistemu i krvotvornom tkivu.

Na modelima alergijske upale mozga u zamorčadi i upale štitne žlijezde u miševa proučavale su se autoimune pojave. Iskustva stečena na tom području vodila su poslije k plodnoj suradnji s kliničarima na istraživanju imunoloških zbivanja u bolesnika s multiplom sklerozom (oboljenje živčanog tkiva) i shizofrenijom.



Rad s kulturama stanica odvija se u atmosferi protočnog sterilnog zraka

## 2.5. Onkologija

Više se istraživača usmjerilo na područje tumora (onkologija). U prvim je godinama istraživao utjecaj tumorâ izazvanih karcinogenim kemikalijama ili zračenjem na imunitet domaćina, a ta su istraživanja nastavljena radi šireg upoznavanja imunološkog odnosa tumor-domaćin, posebno zbog mogućnosti primjene imunoloških metoda u otkrivanju i liječenju tumora. Definirano je više eksperimentalnih modela s presadivim tumorima na pokusnim životinjama; proučena je njihova patologija i dinamika rasta, i osjetljivost na zračenje i kemoterapijske tvari.



U suradnji s kemičarima u Institutu počele su se proučavati tvari bakterijskog podrijetla koje pojačavaju imunološku reakciju i koje bi se mogle primijeniti na liječenje tumora imunološkim metodama (imunoterapija) i sintetski spojevi koji bi se mogli primijeniti na liječenju tumora kemijskim spojevima (kemoterapija).

U suradnji s kliničarima proučavao se imunološki status bolesnika s lokalnim tumorima (osobito u žena s ginekološkim karcinomom) i bolesnika s leukemijama. Pri tom se istraživala i membranska struktura na bolesnim stanicama radi klasifikacije leukemija.

Dio prostorije s pokusnim životinjama

## 2.6. Endokrinologija

Jedno je od osnovnih usmjerenja bilo i istraživanje hormona (endokrinologija), a posebno proučavanje dijabetesa i metabolizma ugljikohidrata. Pratilo su se promjene gušterače u ozračenih štakora, i pokazalo se da zračenje gladnih životinja pojačava otpornost na inzulin i na šok izazvan sniženjem razine šećera u krvi. Razvoj na tom području, poslije kraćeg prekida, vodio je k pokušajima presađivanja hormonskog tkiva gušterače u životinje s eksperimentalnim dijabetesom, a u novije doba i k proučavanju uloge inzulina i njegovih antagonista u imunološkim procesi-

ma, funkciji krvotvornog tkiva i rastu eksperimentalnih tumora. U suradnji s organskim kemičarima u Institutu i s farmaceutskom industrijom počelo se, posljednjih godina, raditi na ispitivanju polusintetskih inzulina s produženim djelovanjem.

Također se, u suradnji s farmaceutskom industrijom, istraživala uloga lizosoma (staničnih organela koje sadrže enzime) i lizosomskih enzima u staničnom metabolizmu, a posebno utjecaj farmakološki aktivnih tvari koje labiliziraju ili stabiliziraju lizosomske membrane.



## 2.7. Neurofarmakologija

Treće osnovno istraživanje na području biomedicine odnosilo se na središnji živčani sustav, isprva također s aspekta utjecaja zračenja. Kako se u to doba počelo otkrivati da serotonin, jedan biogeni amin, ima važnu ulogu u regulaciji raznih procesa u organizmu, osobito u živčanom sustavu, nastojala se pobliže upoznati njegova uloga u radijacijskoj bolesti. Biokemičari Instituta sintetizirali su radioaktivni serotonin, pa je istražen njegov metabolizam i sudbina u ozračenom organizmu. Ta suradnja i pionirski početak rada na istraživanjima jedne od tvari koja omogućuje prijenos impulsa u živčanom tkivu ostavio je traga sve do danas, te i dalje traje dobra suradnja između biokemičara i istraživača središnjeg živčanog sustava u Institutu.

Pokazalo se da zračenje izaziva promjene u metabolizmu serotonina i noradrenalina (to je također biogeni amin) u mozgu, da se te promjene mogu modificirati lijekovima neurofarmacima, da se poslije izlaganja zračenju pojačava izlučivanje serotoninских i njima srodnih metabolita, da serotonin i njemu slični spojevi mogu poslužiti kao radioprotektori, te da serotonin, nakon prodora u krv i moždanu tekućinu, ulazi u mozak, gdje se vrlo brzo razgrađuje na svoje metabolite.

Istraživao se utjecaj zračenja na izlučivanje biogenih amina (serotonin, kateholamini i njihovi metaboliti), te histamina, u ozračenih pokusnih životinja i u bolesnika koji su bili izloženi zračenju središnjeg živčanog sustava u terapijske svrhe. U nastavku tog istraživanja proučavala se uloga serotonina u migreni i

duševnim bolestima, npr. endogenoj depresiji, osobito transport serotonina u krvne pločice i utjecaj lijekova na taj proces.

Nabavka suvremene neurofiziološke opreme omogućila je proučavanje utjecaja iona raznih lijekova na oslobađanje tvari koje omogućuju prijenos živčanih impulsa. To se radilo metodom iontoforeze. Posebno se proučavalo oslobađanje acetilholina iz moždane kore.

Značajan su doprinos dala istraživanja novih pristupa u bazičnom i kliničkom ispitivanju podrijetla i značenja razgradnih produkata tvari koje posreduju pri prijenosu živčanih impulsa. Nastojalo se utvrditi mogu li ti produkti poslužiti kao indikatori stanja biokemijskih procesa u mozgu. U novije se doba ta problematika proširuje na proučavanje patofiziologije moždane tekućine, posebno kod nekih oštećenja mozga, npr. kod nakupljanja tekućine u moždanom tkivu ili moždanim komorama (edem ili hidrocefalus).

Pomoću lijekova koji djeluju na psihičke procese ispitivani su mehanizmi regulacije aktivnosti raznih vrsta živčanih stanica u moždanim strukturama koje reguliraju ponašanje i izvođenje pokreta. U tom su radu primijenjene suvremene mikroenzimatske metode. U novije se doba počelo istraživati utjecaj stresa nepovoljnih vanjskih utjecaja i psihoaktivnih lijekova na mehanizme koji povezuju središnji živčani sustav i lučenje hormona i imunološku reaktivnost. Istraživanja na središnjem živčanom sustavu pobudila su zanimanje i dovela do suradnje s farmaceutskom industrijom, zdravstvom i JNA.

## 2.8. Zaključak

Vidimo da su na osnovi proučavanja utjecaja zračenja na pokusne životinje i biološke sustave *in vitro* proizašla glavna usmjerenja na području biomedicinskih istraživanja u Institutu: radiobiologija, molekularna biologija i genetika, imunohematologija, eksperimentalna onkologija, te neurofiziologija i neurofarmakologija središnjeg živčanog sustava. Zapravo, biomedicinska istraživanja u Institutu prilagođavala su se potrebama i mogućnostima društvenog razvoja. Na toj osnovi, idući ciljevi znanstveno-istraživačkog rada na području biomedicine u Institutu bit će: proučavati djelovanje zračenja (posebno neu-

tronskog) i karcinogena na organizam i na stanice i upoznavati procese staničnog oporavka, proučavati promjene krvotvornog sustava u vezi s rastom tumora i hormonskim poremećajima i istraživati neurofiziološka i neurofarmakološka zbivanja u središnjem živčanom sustavu zahvaćenom različitim oboljenjima.

Tako će se raditi na rješavanju konkretnih problema medicine s kojima se suočava naše zdravstvo, posebno u vezi s funkcioniranjem imunološkog, krvotvornog, endokrinog i živčanog sustava.

## 3. ČOVJEK I NJEGOV OKOLIŠ

### 3.1. Istraživanja Jadranskog mora

Suradnici Instituta počeli su istraživanja mora još 1962. Tada su ona bila usredotočena na imunobiološka svojstva gameta pri oplodnji ježinaca. Poslije su proširena na ekofiziologiju i radioekologiju, te na promet radionuklida u morskim organizmima. Organizacijski, postoji tada samo Laboratorij za marinu radiobiologiju, smješten u Institutu za biologiju mora Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Rovinju. Kako se ta istraživačka djelatnost proširivala na hidrografiju, primarnu produkciju, kao i na proučavanje drugih aspekata zagađivanja mora, sjedinili su se 1969. taj laboratorij i neki laboratoriji Instituta u Zagrebu i Institut JAZU u novi Centar za istraživanje mora. Desetak godina Centar za istraživanje mora djeluje kao jedinstvena jedinica s laboratorijima u Zagrebu i u Rovinju i brzo se afirmira kao najveća interdisciplinarna institucija za istraživanje mora u Hrvatskoj i Jugoslaviji i jedna od najvećih na Mediteranu. Suradnici Instituta tako su nastavili, proširili i kvalitativno obogatili oceanološka istraživanja, koja se u Rovinju vrše neprekidno od 1891. kad je ondje osnovan prvi laboratorij za istraživanje mora na tlu današnje SR Hrvatske i Jugoslavije.

#### 3.1.1. Hidrografija i primarna produkcija

Suradnici Instituta proučavaju mehanizme koji određuju hidrografske prilike i ciklus hranjivih soli u akvatoriju sjevernog Jadrana. Utvrđen je mehanizam i ciklus fitoplanktonskih zajednica, što je omogućilo procjenu veličine primarne organske proizvodnje i biomase na sjevernom Jadranu.

#### 3.1.2. Ekologija i taksonomija morskih organizama

Istraživanjima na priobalnom području i na pučini utvrđeni su karakteristični rasporedi sjeverno-jadranskih pridnenih životnih zajednica. One su ne samo indikator vitalnosti tog područja nego i podesne za karakterizaciju sanitarne kvalitete vode. Taksonomska i sistematska proučavanja životnih zajednica posljednjih su godina posebno obilježje istraživanja u rovinjskom dijelu Centra. Obradom sakupljenoga biološkog materijala pronađeno je stotinjak vrsta, do sada nepoznatih u Jadranskom moru, a opisano je desetak novih vrsta.

#### 3.1.3. Radioekološka i ekofiziološka istraživanja

Od početka rada suradnika Instituta u Rovinju prati se radioekološka situacija sjevernog Jadrana. Kako zbog dotoka voda s kopna, iz industrijskih područja u susjedstvu, tako i zbog atmosferskog dotoka (*fall-out*), potrebno je neprekidno pratiti radioaktivnost mora. Taj oblik zagađivanja prirodnoga okoliša samo je jedan od mnogobrojnih, ali posebno važan.

Svrha je ekofizioloških i biokemijskih istraživanja da prate prilagodbu i razvoj karakterističnih morskih organizama u uvjetima promijenjenih biotičkih i abiotičkih faktora okoliša. Toksikološka istraživanja izabranih morskih organizama obuhvaćaju proučavanje djelovanja teških metala, organskih zagađivala, poput naftnih ugljikovodika i kloriranih pesticida, na promjenu enzimske aktivnosti, na kancerogene efekte i na rast razvojnih stadija morskih organizama.





Istraživački brod »Vila Velebita« koristi se za istraživanja fizikalno-kemijskih i bioloških osobina mora i života u njemu. Brod je opremljen suvremenim laboratorijskim uređajima za ta istraživanja

## 3.2. Biološka istraživanja morskih organizama, ribarstvo i morsko ribnjačarstvo

### 3.2.1. Biološka istraživanja morskih organizama

Istraživači Instituta razvili su značajnu aktivnost i u biološkim istraživanjima organizama u prirodnim vodama, poglavito u moru. Rovinjski laboratorij ima dugotrajnu tradiciju u klasičnim biološkim istraživanjima sistematike i klasifikacije živih organizama priobalnog mora i njegova dna. Ta istraživanja započinju bakteriologijom, istraživanjima primarne biosinteze u moru (fitoplanktologija), te preko nižih vrsta i školjaka dosežu sve do onih vrsta koje tvore ribarstvene resurse.

### 3.2.2. Morsko ribarstvo i ribnjačarstvo

Očito je da čistoća mora i kvaliteta priobalnih voda nije samo estetsko pitanje. Kvalitetne vode osiguravaju ulov kvalitetne ribe i uzgoj školjaka, i tako bi-

vaju značajna komponenta u proizvodnji hrane. Uočavajući činjenicu da se u Hrvatskoj na nekoliko stotina tisuća hektara slatkovodnih ribnjaka proizvodi više ribe, nego što je izravni jadranski ulov, suradnici Instituta proveli su akciju za uspostavljanje moderne akvakulture, morskog ribnjačarstva. Tako je široka interdisciplinarna djelatnost suradnika Instituta urodila prvim uspješnim pokušajima uzgoja riba (lubin) i školjaka u priobalnim, lagunskim područjima sjevernog Jadrana. Pripremaju se veći investicioni zahvati kojima će se uzgoj riba oko Limskog kanala uzdići na komercijalni stupanj, naravno uz sredstva i suradnju s ribarskom industrijom toga područja.

Značajna su nastojanja suradnika Instituta da prirodnu pojavu miješanja slatkih voda ušća rijeke Krke i morskih voda u Šibenskom zaljevu iskoriste za komercijalni uzgoj pastrva, lososa i nekih drugih vrsta. I tu je metodologija istraživanja znanstvena i interdisciplinarna.

### 3.3. Ekološke studije i Studije o utjecaju na okoliš industrijskih i urbanih objekata

#### 3.3.1. Ekologija prirodnih voda

Djelatnost značajnog broja suradnika Instituta okrenuta je prema jednom osobitom fenomenu današnjice: interakciji tehnologije i prirode. Jak privredni razvoj Hrvatske u proteklom desetljeću upozorio je na granice količina otpadnih tvari koje okoliš može prihvatiti. Sve češći dokazi o zagađenosti voda, zra-ka i tla upozoravaju na nužnost otkrivanja međudje-lovanja tehnološke civilizacije i prirodnoga okoliša. U tom pogledu Hrvatska je posebno zainteresirana za svoje more, za Jadran, i za njegov dragocjeni priobalni pojas, za svoja prirodna jezera i, dakako, za rijeke, primorskog i panonskog sliva.

Istraživanje prirodnih voda i njihova zagađivanja postalo je značajan dio istraživačkog rada u labora-torijima Instituta. Ta se istraživanja tematski dijele na analitički pristup, na istraživanja kinetike i me-hanizama prirodnih procesa u živim i neživim kom-ponentama okoline, i najposlije sjedinjuju se u pri-rodoznanstvenim spoznajama posljedica tehnoloških zahvata u kategoriji istraživanja, koja nazivamo za-jedničkim imenom Studija o utjecaju na okoliš.

#### 3.3.2. Analitička kemija u ekološkim istraživanjima

U strukturi analitičkih istraživanja potrebno je spo-menuti disciplinu kemijske analize, na nizu područ-

ja. Suradnici Instituta dosegli su svoj najviši znanst-veni domet u toj disciplini analizirajući tragove teških metala (cinka, žive, kadmija, bakra i olova) u moru i drugim prirodnim vodama. Kemijski oblik tih metala u niskim koncentracijama (koje se mjere dje-lovima na milijardu) karakterističan je za svaki me-tal, a i njihova toksičnost za žive organizme, njihov promet u prehrambenom lancu, koji završava s čov-jekom, ovisan je o njihovom kemijskom obliku i o procesima njihove pretvorbe.

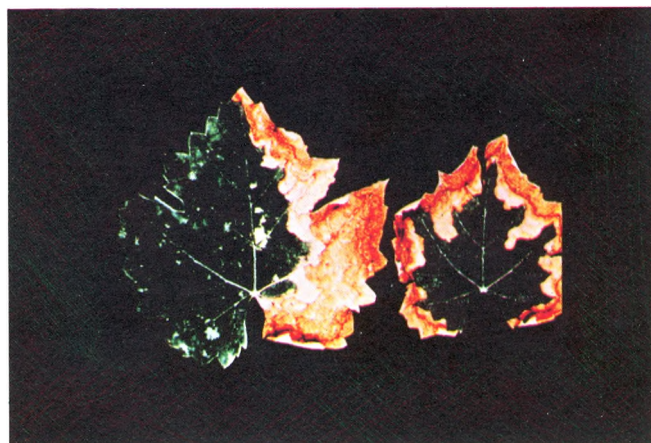
Analitička kemija površinsko-aktivnih tvari upozori-la je na važnost tih materijala kao komponente koja regulira promet i izmjenu tvari između atmosfere i mora, između morske vode i organizama koji u njoj žive, kao i između mora, ili drugih tekućih voda, i tla, odnosno sedimenta. U tom okviru, u Institutu se razvija i geokemijska disciplina recentne sedimento-logije.

Analiza drugih štetnih komponenata u tokovima vo-da uključuje, prije svega, klorirane ugljikovodike i sastojke nafte, koji, kao otpadni produkti tehnološke prerade, dopijevaju u okoliš.

Suradnici Instituta već godinama prate stupanj pri-rodne i umjetne radioaktivnosti u prirodnim voda-ma. Očekivani početak rada prve nuklearne elektra-ne stavlja tu disciplinu u red najvažnijih istraživanja o stanju okoliša, kako radi osiguranja zdravlja, tako i radi ocjene sigurnosti primijenjene nuklearne teh-nologije.



Akvarij Instituta »Ruđer Bošković« u Rovinju



Oštećenja lišća uzrokovana povišenom koncentracijom ozona u zraku



### 3.3.3. Analitičke metode u istraživanjima zagađivanja atmosfere

Iako manji po opsegu, rad na istraživanjima zagađivanja atmosfere značajna je komponenta ekoloških istraživanja. Suradnici Instituta razvili su instrumentalne metode za mjerenje koncentracija ozona, dušikovih oksida, sumpornog dioksida, nižih ugljikovodika i policikličkih aromatskih ugljikovodika u zraku. Osim laboratorijskih ispitivanja, suradnici Instituta obavljaju i terenska mjerenja, služeći se posebno opremljenim terenskim vozilom. Istraživanja su, do sada, vršena u glavnim industrijskim zonama SR Hrvatske, Zagrebu, Rijeci i Splitu.

### 3.3.4. Bio-geokemijsko kruženje zagađivača

Kinetika i mehanizam procesa prometa zagađivala i drugih mikrokomponentata u prirodi logički je nastavak analitičkih istraživanja. Dok nam analitički podaci govore o koncentracijama i kemijskim oblicima pojedinih vrsta, kinetičkim je i mehanističkim istraživanjima svrha određivanje njihova bio-geokemijskog kruženja. U tom pogledu važna su istraživanja bioakumulacije radionuklida i teških metala u višim organizmima mora i prirodnih voda, utjecaj nekih mikrokomponentata na indukciju nekih encimatskih procesa u tim životinjama, te uočavanje bitnih konzekvencija tih procesa za kvalitetu ljudske prehrane i po zdravlje ljudi. Uključivanje zagađivala u geokemijski ciklus istražuje se i opsežnim sedimentološkim istraživanjima u sjevernom Jadranu, u Riječkom zaljevu, te u području toka rijeke Save u okolici Zagreba.

Karakterističan primjer sinteze osnovnih istraživanja, primjene i povezivanja s društvenim tokovima u urbanom i industrijskom razvitku Hrvatske, suradnici Instituta nalaze u izradi kompleksnih ekoloških studija kao i Studija o utjecaju na okoliš.

Karakterističan primjer takvih nastojanja, koja su započeta još prije desetak godina, jesu istraživanja ekološke situacije i uvjeta za priobalna područja sjevernog Jadrana.

### 3.3.5. Istraživanja na Jadranu i Studije o utjecaju na okoliš

Istraživački brod Instituta »Vila Velebita« (96 BRT, 26 m, 10 čv) bio je posljednjih godina ploveći istraži-

vački laboratorij za mnoga takva istraživanja. Nabavljen je kao polovni brod - minolovac od Ratne mornarice 1969. Prvi veliki istraživački projekti, kao što je bila ekološka studija u okviru programa Ujedinjenih naroda (UNDP) »Sjeverni Jadran«, te projekti u suradnji s Nacionalnom fundacijom za znanstvena istraživanja (NSF), te s Agencijom za zaštitu okoliša (EPA) Sjedinjenih Država omogućili su pregradnju broda u ploveći istraživački laboratorij. Pregradnja je obavljena 1972/3, i od tada »Vila Velebita« plovi u svojem današnjem obliku.

Intenzivna istraživanja Riječkog zaljeva, priobalnih voda uz zapadnu obalu Istre, kao i otvorenih voda sjevernog Jadrana, nastavljaju se danas u okviru međunarodnih suradničkih projekata. U suradnji s Programom Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP), istraživanja se vrše u okviru sedam koordiniranih projekata poznatih kao MED POL-programi. Potkraj 1979 realiziran je zajednički istraživački projekt istraživanja zagađenja međunarodnih voda Jadrana u okviru bilateralne suradnje s Republikom Italijom, u čemu se Institut pojavljuje kao nosilac glavnine suradničkih radova.

Jedan od najvećih projekata koji je Institut ikad prihvatio bio je ekološko istraživanje Riječkog zaljeva. Industrijski, urbani, turistički i prometni razvoj grada Rijeke, ulazak industrijskih giganta na to područje (kao što je koksara u Bakru, naftni terminal u Omišlju i petrokemijski kompleks na Krku), izazvali su pravu ekološku krizu. Ocjena dokle je ta kriza prouzrokovana primjenom neadekvatne tehnologije, ili tek manjkom nekih osnovnih spoznaja o ekologiji tog prostora, pokušava se donijeti u kompleksnoj ekološkoj studiji toga područja.

U ta istraživanja, uz suradnike Instituta u Zagrebu i Rovinju, uključeni su i suradnici iz drugih jadranskih instituta, posebno iz Instituta za oceanografiju i ribarstvo iz Splita, te Biološkog instituta u Dubrovniku. Istraživanja transporta vodnih masa u Riječkom zaljevu Institut obavlja uz suradnju i pomoć Hidrografskog instituta Ratne mornarice. Postupno, ali sigurno, podaci o kvaliteti voda i zraka, o živim bićima i o stanju morskog dna dolaze u obradu. Radna grupa za ekološko modeliranje, služeći se modernim računarskim postupcima, stvara matematički i konceptualni model Riječkog zaljeva. Taj model, prvi koji je ikad stvaran u nas, ima kao krajnju svrhu da, analizom mnogih činilaca, pokuša predskazati što današnje djelatnosti znače za opstanak i kvalitetu prirode na tom području. Tako se djelatnost istraživača Instituta uklapa u razradu Studija o utjecaju na okoliš, koje u sve većem broju postaju osnovnom komponentom planiranja razvoja SR Hrvatske.



Stvaranje Poslovne zajednice instituta koji se bave istraživanjem Jadranskog mora, kao i prihvaćanje u Saboru SR Hrvatske Integralnog programa »Istraživanje, iskorištavanje, zaštita i unapređenje Jadranskog mora u SR Hrvatskoj«, otvara perspektive razvoju te istraživačke djelatnosti u Institutu.

Suradnici Instituta, zajedno sa svojim slovenskim kolegama iz Instituta »Jožef Stefan« i suradnicima elektroprivrednih poduzeća, sudjeluju u istraživanjima utjecaja naše prve nuklearne elektrane na okoliš. U sadašnjoj fazi, prije početka rada toga energetskog postrojenja, prikupljaju se, kako je već spomenuto, osnovni podaci o prethodnom stanju okoliša, posebno voda sliva rijeke Save.

### 3.3.6. Istraživanja vodoopskrbnih uvjeta

U tu istu kategoriju istraživanja, terenskih i laboratorijskih, uključuju se i istraživanja vodoopskrbne si-

tuacije u nekim našim regijama. Istraživanje je osobito intenzivno za šire područje zajednica općina grada Zagreba. Kako se Zagreb približava kritičnoj točki kapaciteta crpljenja vode iz svojih dosadašnjih izvorišta, Institut se, zajedno s projektantskom organizacijom, vodoprivrednim poduzećem i elektroprivrednom organizacijom, uključuje u proučavanje zaštite dosadašnjih izvorišta i procjenu kvalitete i kapaciteta novih. U sklopu istraživanja na krškim područjima Istre, suradnici Instituta istraživali su i istražuju podzemne tokove voda, služeći se pri tom tehnikom i metodologijom obilježivača. Ispitivali su, također, i probleme filtracije i bistrenja svježih voda toga područja, gdje veliki kompleksi *terrae rossae* i boksita izazivaju vodoopskrbne probleme.

## 4. SURADNJA INSTITUTA S DRUGIM ORGANIZACIJAMA; TEHNOLOŠKA I PROIZVODNA AKTIVNOST

### 4.1. Uvod

Svjesno izdvajanje sredstava i podizanje jednog znanstvenog središta kakva, po veličini uložених sredstava, nije bilo u povijesni znanosti u Hrvatskoj nužno je potaklo razvoj i takvih djelatnosti u samom Institutu, koje vežu znanost s praksom radi pronalazjenja niza tehnoloških rješenja za vlastite potrebe.

Istodobno s razvojem znanstvenog rada i primijenjenog znanstvenoistraživačkog rada u Institutu »Ruđer

Bošković« razvija se određen tip istraživača sposobnih za rješavanje raznih aktualnih problema koji vežu znanost s neposrednom primjenom.

Institut je u čitavom svojem 30-godišnjem postojanju djelovao na materijalnu proizvodnju izobrazbom stručnjaka, znanstvenom suradnjom s razvojnim institutima u industrijama i usvajanjem i prenašanjem novih tehnoloških dostignuća.

### 4.2. Izobrazba stručnjaka

Kako je, prije dvadesetak godina, u Institutu bila, za naše prilike najmodernija istraživačka oprema, kako je istraživački kadar imao iskustva s problemima cijeloga niza prirodnoznanstvenih disciplina, prirodno je što se morao naći u prvim redovima borbe za izobrazbu stručnjaka u vlastitoj zemlji, posebno kadrova koji su morali k nama uvesti nove tehnologije i postupke. Bez sumnje, specijalističko doškolovanje jedan je od oblika najneposrednije i najvrednije suradnje Instituta i širega društva. Iako je, isprva, u Institutu školovan kadar za sâm Institut, već od rana bilježimo organiziranje niza specijalističkih tečajeva, kao na primjer tečaj za rukovanje otvorenim i zatvorenim izvorima ionizirajućih zračenja. Taj je tečaj pohađalo više od 400 stručnjaka raznih profesija. Zbog razvoja drugih disciplina i tehnika rada u svijetu, proširuje se i tip tečajeva koje organiziraju radnici Instituta (da spomenemo, na primjer, tečaj za suvremene instrumentalne metode u analitičkoj kemiji, tečaj za rukovanje kompjuterima itd.). S vremenom se uspostavlja čvršća suradnja s nizom radnih organizacija iz kojih se na Institut upućuju inženjeri na izradu magistarskih i doktorskih radova. Iako vrijedna, ta je suradnja po opsegu premala, odnosno ne odgovara realnim mogućnostima u Institutu.

Institut, kao velika istraživačka organizacija koja u izravnoj suradnji s privredom ostvaruje oko 30%

ukupnog prihoda, po svojoj orijentaciji prati mnoga aktualna tehnološka zbivanja, pa bi bilo sasvim normalno da je broj kandidata koji se specijaliziraju u Institutu znatno brojniji. Smatramo takvu suradnju obostrano korisnom, jer se budući specijalisti doškoluju u našoj sredini, a istraživači koji vode specijalizante u neprestanom su radnom dodiru s inženjerskim kadrom koji mora rješavati određene probleme naše privrede. Uzajamnost u odgajanju stručnjaka u privredi i u znanosti mora se očitovati u izrastanju novoga istraživačkog podmlatka kojem će problemi naše prakse biti znatno dostupniji.

Potreba da se određeni specijalisti uključe u rješavanje složenih problema i na najodgovornijim nivoima mora obuhvatiti; bez sumnje, i stručna tijela i pojedince Instituta. Suradnici Instituta proteklih su godina kao eksperti sudjelovali u radu republičkih, saveznih i međudržavnih tijela, vršeći pri tom razne funkcije. Osim zadataka za potrebe društveno-političkih zajednica (ekspertize, studije, recenzije, ocjene), stručnjaci Instituta aktivno su sudjelovali u izradi zakonodavnih materijala s područja primjene nuklearne energije (zakon, upute, pravilnici i preporuke u zaštiti od ionizirajućih zračenja).

Od djelatnosti u prijenosu znanja i tehnologije izvršen je cijeli niz usmjerenih i osnovnih istraživanja. Razvijeni su određeni postupci i metode, dotjerane



su razne operacije i tehnologije, usvojena je proizvodnja nekih proizvoda. Razvijeni su i tehnološki postupci, od kojih su neki već ušli u primjenu, a neki

čekaju povoljniji trenutak. Bez posebnog rangiranja po važnosti, navest ćemo - uglavnom kronološki - neka određena nastojanja i rezultate u tim djelatnostima.

## 4.3. Razvoj i izgradnja instrumentacije

### 4.3.1. Uvod

Multidisciplinarna i interdisciplinarna istraživanja potakla su izobrazbu visokospecijaliziranih stručnjaka sposobnih i za rješavanje složenih zadataka u izgradnji i razvoju potrebne instrumentacije. Ta se instrumentacija isprva razvijala i izgrađivala za potrebe istraživačkog rada u Institutu, ali se postepeno izlazilo izvan okvira Instituta, u rješavanje problema u privredi i narodnoj obrani. U kratkom prikazu možemo navesti nekoliko oblika izravnoga djelovanja u izgradnji instrumentacije:

- razvoj i primjena fizičkih mjernih tehnika,
- razvoj i izgradnja elektroničke instrumentacije,
- izgradnja akceleratora teških iona - implantatora,
- razvoj laserskih sistema i
- razvoj i proizvodnja dozimetra za masovnu primjenu.

### 4.3.2. Razvoj i primjena fizičkih mjernih tehnika

Za određivanje koncentracije radioaktivnih izotopa u biosferi konstruirani su uređaji za mjerenje radioaktivnog izotopa ugljika  $^{14}\text{C}$  i tricija  $^3\text{H}$ . Mjerenjem radioaktivnosti  $^{14}\text{C}$  određuje se starost raznih materijala (drvo, ugljen, kosti, sige, podzemne vode), a u kombinaciji s mjerenjem radioaktivnosti tricija, uz određivanje sadržaja stabilnih izotopa  $^{18}\text{O}$ , i dueterija  $^2\text{H}$  u vodama određuje se njihovo podrijetlo. S Nacionalnim parkom »Plitvička jezera« zaključen je ugovor o istraživanju razvoja sedrastih tvorevina na jezerima.

### 4.3.3. Razvoj i izgradnja elektroničke instrumentacije

U suradnji s industrijom prvi veći doprinos bio je razvoj, projektiranje i izgradnja prototipa brojačkih kompleta za GM-brojače. Proizvodnom serijom od

stotinjak takvih instrumenata u Tvornici »Vlado Bagat« u Zadru, zadovoljene su potrebe mnogih laboratorija koji se koriste radioaktivnim izotopima kao obilježivačima.

Slijedeći doprinos unapređenju produktivnosti u industriji jest razvoj i izgradnja mjernog sistema za prikupljanje podataka i za upravljanje naftnim poljem »Bilo«, INA-ine, radne organizacije Naftaplina. S obzirom na primjenu integriranih krugova u ovom uređaju, on je značajan i kao doprinos uvođenju suvremene elektroničke tehnologije na to područje. Skupina suradnikâ Tvornice računskih strojeva Zagreb, uz pomoć suradnikâ Odjela elektronike IRB, istraživala je probleme primjene mikroprocesora, poluvodičkih memorija i drugih krugova visokoga stupnja integracije, za obradu podataka. To je urodilo razvojem stroja za knjiženje s mikroprocesorom. Značajan je doprinos dan i razvoju instrumentacije za potrebe JNA. Izrađeno je nekoliko prototipova potpuno tranzistoriziranih prijenosnih uređaja za mjerenje zračenja, u skladu s potrebama narodne obrane, a koji su prihvaćeni kao standardni i industrijski se proizvode.

Istraživanja u vezi sa instrumentacijom za određivanje parametara okoliša, rezultirala su u automatskim sistemima za zapis mjernih podataka na magnetske kasete malog potroška struje. Izrađeno je nekoliko takvih sistema za automatski zapis parametara valova i vjetra za potrebe JNA.

Posljednjih godina u Institutu je razvijen i elektronički sistem za detekciju zapaljivih, eksplozivnih i otrovnih plinova sa poluvodičkim senzorima. Sistem je patentiran i ustupljen za proizvodnju privrednoj organizaciji i danas se uspješno ugrađuje kao sigurnosni i alarmni uređaj pri kotlovnica većih stambenih zgrada, javnim garažama, skloništima i sl.

#### 4.3.4. Izgradnja akceleratora teških iona - implantatora

Godine 1972. započeta je pregradnja staroga neutronskeg generatora u akcelerator teških iona - implantator. Akcelerirani su ioni argona do energije od 180 keV, te ionizirane molekule  $\text{BF}_2^+$  pri nižim energijama koje su upotrijebljene za akceptorsko dopiranje poluvodiča (silicija). Sistem je uspješno upotrijebljen pri tehnološkim operacijama u proizvodnji poluvodičkih elemenata.

#### 4.3.5. Razvoj laserskih sistema

Na temelju fundamentalnih istraživanja i razvijene tehnologije projektiran je i izveden prvi plinski laser u nas, a nedavno i pulsni laser snage 10 megavata, kojim se ispituju proboj zraka laserskim zračenjem te interakcija laserskog zračenja s materijalima.

Uz osnovna istraživanja razvijena je automatska tehnološka jedinica za proizvodnju interferencionih dielektričnih filtera. Ispituje se utjecaj vanjskih faktora,  $\gamma$  - zračenja i neutronskeg zračenja na formirane tankoslojne optičke sisteme.

Posebna je pažnja posvećena razvoju laserskih i optoelektronskih sistema specijalne namjene. Razvoj tih sistema ide od fundamentalnih istraživanja, izrade modela, prototipova do nultih serija. U sklopu toga ispituje se prototip laserskog komunikacionog sistema i laserskog sistema za obuku. Povezujući osnovna istraživanja s primjenom, razvijen je, u okviru istraživanja dalekog infracrvenog zračenja, uređaj za vizualno istraživanje zračenja na tom području.

#### 4.3.6. Razvoj i proizvodnja osobnog dozimetra za neutrone i fotone

Početkom 1958. počelo je u Institutu istraživanje u radijacionoj kemiji i kemijskoj dozimetriji ionizirajućeg zračenja. Jedan od zadataka važnih za našu narodnu obranu bio je i razvoj osobnog dozimetra.

Dobar osobni dozimetar u rukama svakog građanina pouzdano je sredstvo za procjenu zdravstvenog stanja ljudi ugroženih zračenjem. Odatle i zadatak da se dozimetar i čitač doza razviju skupa s tehnologijom njihove masovne proizvodnje, te da se pri tom ostvare zahtjevi: dozimetrijska točnost u uvjetima masovne primjene, jednostavno rukovanje i niska cijena.



Proizvodnja radijacionih dozimetara i čitača razvijenih u Institutu koji se koriste u JNA i civilnoj zaštiti

Analiza radova objavljenih do 1958. pokazala je, međutim, da poznati kemijski sistemi i postupci izrade dozimetara ne mogu biti osnova kvalitetne i jeftine proizvodnje. Tako je izabran razvoj od znanstvene ideje do proizvodnje.

Razvijen je kemijski sistem na osnovi klorbenzena i konstrukcija dozimetra koji optimalno kombiniraju kriterije osobne dozimetrije i radijacijske kemije s kriterijima tehnologije i ekonomike proizvodnje. Ispitane su varijante sistema i svi varijabilni faktori koji mogu utjecati na kvalitetu proizvoda.

Zračenje mijenja boju dozimetra, pa je čitanje doze riješeno razvojem preciznog i osjetljivog vizualnog kolorimetra. Dobrim tehnološkim rješenjem postignuta je u serijskoj proizvodnji reproducibilnost osjetljivosti dozimetra i kalibracije čitača bolja od 1%. Eksperimentima u zemlji i inozemstvu dozimetar je kalibriran za mjerenje doze neutrona, što je značajno za primjenu dozimetra u znanosti, medicini i zaštiti od zračenja.

Masovna proizvodnja počela je 1972. u malom pogonu Laboratorija za radijacijsku kemiju i dozimetriju. Razvoj proizvodnje u Institutu dao je velike prednosti: efikasni prijenos procesa u industrijsko mjerilo, visoku kvalitetu uz nisku cijenu te stalno ispitivanje i poboljšavanje proizvoda i tehnologije u svih osam godina rada. Proizvodnja, osim toga, stvara sredstva za proširenu reprodukciju znanstvenih i razvojnih potencijala laboratorija, za opremu, razvoj kadrova, sufinanciranje znanstvenih i razvojnih projekata, te za ravnopravno udruživanje rada i sredstava s privredom. Tako je ovdje ostvarena povratna veza u kojoj proizvodnja vraća znanosti ono što je znanost dala razvoju.

## 4.4. Suradnja s farmaceutskom i kemijskom industrijom

### 4.4.1. Uvod

Uspješan razvoj znanstvenih zadataka sa šireg područja kemije vrlo je brzo obogaćen suradnjama s industrijama kojima su kemijske reakcije osnova proizvodnje. Kemičari Instituta najviše su surađivali s farmaceutskom i kemijskom industrijom.

### 4.4.2. Suradnja s farmaceutskom industrijom

Izravna suradnja Instituta s »Plivom«, Tvornicom farmaceutskih i kemijskih proizvoda počinje 1967. ugovorom »Tetraciklinski antibiotici«. Suradnja se proširuje sklapanjem još nekoliko manjih ugovora, a 1970. sklapa se veliki ugovor »Peptidi i proteini« koji je angažirao gotovo sav Odjel organske kemije i biokemije. U toku godina suradnja se usmjerava prema specifičnim temama (*beta*-laktaminski antibiotici, biološki aktivni peptidi, enzimi, farmaka), koje obuhvaćaju zasebni ugovori. Gledajući sa stručne i kadrovske strane, suradnja Institut – »Pliva« izuzetno je uspješna: u deset godina proizašlo je iz devet ugovora 20 patenata, a desetak suradnika »Plive« specijaliziralo se u Institutu i steklo zvanje magistra ili doktora znanosti.

Od farmaceutske industrije surađuju s Institutom još »Krka« – Novo Mesto i »Medex« – Ljubljana. U zajednici s »Krkom« i Institutom »Jožef Stefan« patentiran je postupak za dobivanje proteolitičkih enzima.

Djelovanje brojnih biološki aktivnih tvari ispituje se i na laboratorijskim životinjama.

Za biomedicinska istraživanja organiziran je još 1955. u Institutu uzgoj visokosrođenih sojeva miševa i uzgoj štakora. Osim što podmiruje potrebe naših istraživanja, životinje iz uzgoja prodaju se i drugim institucijama.

## 4.5. Proizvodnja radiofarmaceutika u Institutu »Ruđer Bošković«

Radioaktivni izotopi u obliku radiofarmaceutika služe za prikazivanje tkiva, lokalizaciju tumora, studij dinamičkih i metaboličkih funkcija ili poremećaja i za terapiju. Slikovito rečeno, oni danas, uz pomoć suvremenih medicinskih aparatura, nevidljivo mogu učiniti vidljivim. Upotreba radiofarmaceutika nepre-

### 4.4.3. Suradnja s kemijskom industrijom

S kemijskom industrijom postoje razni oblici suradnje. U proizvodno-tehnološkom smislu, valja istaći suradnju s Kemijsko-građevinskom industrijom u Karlovcu. Na razvijanju vlastitih postupaka, vlastite tehnologije i osnova za oslobađanje od uvoza određenih vrsta sirovina, potrebno je istaći rezultate naših istraživača u uklapanju u razvojni program silikatno-kemijskog kompleksa u Karlovačkoj regiji. Zato je bila potrebna inicijativa, vlastita rješenja, vlastiti patentni niza potupaka, školovanja kadra i neposredno uključivanje u izgradnju. Značajno je da se u regiji koja ima dio sirovinске osnove i niz drugih povoljnih uvjeta može, na osnovi rezultata našeg znanstvenoistraživačkog rada, podići složen industrijski kompleks (proizvodnja različitih tipova molekularnih sita, amorfnih kvarenih punila).

Od 1970. Institut »Ruđer Bošković« i »Jucema« surađuju i zajednički istražuju cimente. Traže se rješenja kako da se štedi energija (gorivo) pri proizvodnji portland-cementa, kako da se poveća hidrootpornost sored-cementu i kako da se iskoriste otpadni produkti u građevinarstvu.

Vrlo su dobri rezultati postignuti, također, zajedničkim nastojanjima istraživačkog kadra RJ-Razvoj i istraživanje INA-e i našeg Instituta. U okviru programa o znanstvenoj suradnji, razrađen je vlastiti postupak za pripremu katalizatora za hidrodesulfurizaciju, a postignuti su i dobri rezultati na istraživanju sinteze i karakterizacije termostabilnih polimera. Katalizator priređen po vlastitom postupku ima bolje karakteristike od onih koji se sad u našim rafinerijama upotrebljavaju za uklanjanje sumpora. Dosađnji rezultati otvaraju i mogućnost za razradu novih postupaka za pripremu drugih katalizatora, kao što su, na primjer, katalizatori za hidroobradu i hidrodoradu.

kidno raste (oko 15% godišnje). Potrebni radioaktivni izotopi mogu se proizvesti upotrebom ciklotrona.

Iako 16 MeV-ski ciklotron u Institutu »Ruđer Bošković« nije građen za medicinske svrhe, stvoren je potkraj 1971. tim fizičara, radiokemičara i liječnika



kako bi se potakla proizvodnja radiofarmaceutika. Rad je urodio proizvodnjom galija-67, koji se od 1973. upotrebljava u medicinskoj praksi. Galij-67 smatra se jednim od najuspješnijih sredstava za rano otkrivanje i praćenje nekih vrsta tumora. Do sada se njime koristilo desetak medicinskih ustanova širom Jugoslavije.

Kripton-81m — koji se, također, proizvodi u Institutu — ide u skupinu ultrakratkoživućih ciklotronskih radionuklida (vrijeme poluraspada 13 sekundi). U kombinaciji s roditeljem, rubidijem-81 (vrijeme poluraspada 4,7 sati), tvori generator kriptonu. Upotrebljava se za određivanje funkcije pluća. U našu medicinsku praksu uveden je još 1975, kad ga je proizvodilo samo nekoliko centara u svijetu. Isporučuje se u nekoliko medicinskih centara u Austriji, ali izvoz ograničuje loš i razmjerno skup prijevoz.

Da bi se mogla uspostaviti neprekidna komercijalna proizvodnja na ciklotronu, bilo je nužno da se razvije tehnika i unaprijedi radiokemijska tehnologija. Spomenimo samo neke najvažnije razvojne faktore poboljšanje sistema ionskog izvora i vakuumske sistema, razvoj i proizvodnja prikladne ciklotronske mete i adaptacija ili razvijanje novih metoda radiokemijskih separacija.

Mogućnosti zagrebačkog ciklotrona nekoliko su puta veće nego što je sadašnja potražnja, i Zagreb bi, na temelju sadašnjih mogućnosti i iskustava, uz razmjerno skromna novčana sredstva, mogao postati jugoslavenski centar za razvoj i proizvodnju radiofarmaceutika na bazi kratkoživućih ciklotronskih radionuklida. Praksa je pokazala da je u tom smislu učinjen koristan pionirski posao.

## 4.6. Nuklearna energetika

### 4.6.1. Uvod

Jedna od etapa u razvoju ovog Instituta bila je izrazita usmjerenost prema proizvodnji energije upotrebom reakcija nuklearne fisije. Dobro vođena, istraživanja su bila osnovica za uspješno uključivanje u neke od konkretnih programa uvođenja nuklearnih elektrana u naš energetske sustav. U osnovi se te djelatnosti mogu svesti na ove zadatke:

- razrada vlastitih postupaka za proizvodnju nuklearnih sirovina;
- sudjelovanje u usvajanju proizvodnje i razvoja proizvodnje specifičnih komponenata nuklearne opreme;
- izravna suradnja na programu izgradnje Nuklearne elektrane u Krškom;
- rad na programima vezanim uz zaštitu od ionizirajućeg zračenja;
- sudjelovanje u izradi nuklearne legislative.

Posljednja dva zadatka već su opisana.

### 4.6.2. Poluindustrijsko postrojenje za uranov dioksid nuklearne čistoće

Istraživanja kemije i elektrokemije urana potkraj pedesetih godina upućivala su na mogućnost razrade novoga procesa za dobivanje nuklearnog goriva, uranova dioksida. Umjesto plinskih redukcija (vodičkom ili amonijakom), suradnici Instituta razradili su postupak elektrokemijske redukcije u ćeliji s rotirajućom živičnom elektrodom. Postrojenje je, u poluindustrijskom obliku, imalo kapacitet od 10 kg urana na dan. Iako primjenjivo i na naše uranom siromašne rudače i na karbonatne otopine, zbog nedostatka interesa za proizvodnju uranova goriva i (manjka ulaganja) prekinut je taj rad potkraj šezdesetih godina. Institut posjeduje pet patenata, koji uključuju tehnologiju uređaja i kemijsku obradu za dobivanje uranova dioksida nuklearne čistoće.

### 4.6.3. Razvoj specifičnih komponenata nuklearne opreme

Po programu uvođenja nuklearnih elektrana u naš elektroenergetski sustav, razvijana je suradnja između istraživača Instituta i stručnjaka iz mnogih radnih organizacija. Kao najznačajniju, izdvajamo suradnju na programima specifičnih komponenata opreme za nuklearna postrojenja i usvajanje proizvodnje komponenata cirkulacijskog sustava s neiskoristivim radioaktivnim izotopima. Na zajedničkom programu surađivalo je nekoliko radnih organizacija: »Zavod za razvoj nuklearne i procesne opreme Đuro Đaković«, Zagreb; »Jugoturbina«, Karlovac; »Jedinstvo«, Zagreb; »Rade Končar«, Zagreb; »TPK«, Zagreb. Suradnja se ostvarivala po izravnim ugovorima, koji su dijelom poslužili kao osnova za kasnije uključivanje tih radnih organizacija u izgradnju naše prve nuklearne elektrane.

Vrlo oštre preorijentacije u projektima što ih je definirala šira društvena zajednica izrazito su nepovoljno djelovale na razvoj specijalističkog kadra potrebnog sredini koja uvodi nuklearne elektrane u svoj energetski sustav. Opća energetska kriza i usvojena orijentacija na nuklearnoenergetske sustave opravdavaju nadu da će se, uz uporna nastojanja Instituta, usvojiti i SIZ-ovski program nuklearne energije, kao prijeko potreban za izobrazbu stručnjaka za to područje djelovanja.

### 4.6.4. Suradnja s Nuklearnom elektranom Krško u izgradnji

Pripreme za izgradnju, izgradnja i puštanje u rad prije kontinuirane eksploatacije nuklearne elektrane vremenski su opsežni i po radnim sadržajima vrlo različiti zadaci. Suradnici Instituta aktivno su sudjelovali u svim etapama pripreme izgradnje i u toku iz-

gradnje nuklearne elektrane u Krškom (NEK). Najraniji je angažman ostvaren po ugovorima s našom industrijom, koja se uključila u izgradnju NEK. U prethodnim radovima posebno mjesto zauzimaju mjerenja na terenu nužna za izradu Preliminarnoga sigurnosnog izvještaja. Niz opsežnih istraživanja u okolišu, kako bi se utvrdilo »nulto stanje«, prvi je posao te vrste. Najvredniji oblik suradnje ostvaruje se izravnim udruživanjem rada određenog broja istraživača u toku izgradnje nuklearne elektrane. Radi se na nizu zadataka kojima je osnovna svrha sudjelovanje u izradi nuklearne legislative, razvoj vlastitih kompjuterskih programa od važnosti za korištenje nuklearnog goriva u reaktoru, ocjena pojedinih dijelova Konačnoga sigurnosnog izvještaja, iniciranje stvaranja posebne nuklearnomedicinske zaštite, organiziranje tečajeva za buduće radnike NEK, a sudjeluje se i u izradi studija za obavljanje posebnih zadataka NEK.

### 4.6.5. Suradnja s ostalim organizacijama

Na programu izgradnje nuklearnih elektrana u Jugoslaviji i Hrvatskoj Institut je samoupravnim sporazumom udružen u Zajednicu nuklearnih Instituta u kojoj su pored našeg Instituta još i: Institut »Boris Kidrič« iz Vinče, Institut »Jožef Stefan« iz Ljubljane, Institut za tehnološka istraživanja iz Beograda, Geoinstitut iz Beograda, Institut »Rade Končar« iz Zagreba i Institut za termotehniku (ITEM), Energoinvest iz Sarajeva. U širem programu suradnje posebno mjesto zauzimaju djelatnosti vezane na izgradnju nuklearne elektrane u Krškom obuhvaćene Samoupravnim sporazumom o znanstveno tehničkoj suradnji između našeg Instituta, Instituta »Jožef Stefan« iz Ljubljane i NE Krško, veoma uska i efikasna suradnja sa Zajednicom elektroprivrednih organizacija Hrvatske kao i regionalnim zajednicama elektroprivrede, a naročito u vezi s utvrđivanjem lokacije za nuklearne elektrane u Hrvatskoj.

## 4.7. Ekspertize, studije i posebne usluge

Koncentracija stručnjaka raznih specijalnosti, razvijene metode i posebne eksperimentalne mogućnosti, osnova su korisnim oblicima suradnje. Suradnja obuhvaća jednokratnu posebnu uslugu, izradu određene studije ili ekspertize za interesente u Jugoslaviji i preko naših granica. Bez pretenzije da ih grupiramo po važnosti, navodimo radne organizacije naše suradnike u proteklom razdoblju: Biološki institut, Dubrovnik; Biološki institut Univerziteta u Sarajevu; Bolnica »Dr Josip Kajfeš«, Zagreb; Bolnica »Dr Ozren Novosel«, Zagreb; Bolnica za živčane i duševne bolesti »Dr Ivan Barbot«, Popovača; »Chromos«, Zagreb; »Digitron«, Buje; »DTR«, Zagreb; »Duro-lit«, Zagreb; Elektroprivreda Dalmacija, Split; »Energoinvest«, Sarajevo; »Energoprojekt«, Beograd; »Fotokemika«, Zagreb; Hidrografski institut Ratne mornarice, Split; Imunološki zavod SR Hrvatske, Zagreb; INA, Zagreb; INA-Naftaplin, Zagreb; INA, Rafinerija Rijeka; Institut »Boris Kidrič«, Beograd; Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana; Institut za fiziku Sveučilišta u Zagrebu; Institut za hemijsko istraživanje »Soda-so«, Tuzla; Institut »Mihajlo Pupin«, Beograd; Institut za medicinska istraživanja, Zagreb; Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split; Inženjersko projektni zavod, Zagreb; ITMZ, Beograd; ITMZ, Mostar; Jadranska plovdba, Dubrovnik; »Jucema«, Zagreb; Jugoslavenski naftovod u osnivanju; »Jugoterm«, Gnjilani; Klinička bolnica

»Dr Mladen Stojanović«, Zagreb; Klinika za ženske bolesti i porođaje, Zagreb; »Krka«, Novo Mesto; »Labud«, Zagreb; »Loris«, Zagreb; »Medex«, Ljubljana; »Meplikon«, Zagreb; »Mirna«, Rovinj; Morska biološka postaja Univerze v Ljubljani; Nacionalni park Plitvice; NE Krško, Krško; Odjeljenje za naučno-istraživački rad Sanitetske uprave SSNO, Beograd; Odjeljenje za istraživanje i razvoj SSNO, Beograd; Opće vodoprivredno poduzeće, Rijeka; Pedagoški fakultet u Rijeci; »Plasa«, Zagreb; »Pliva«, Zagreb; »Rudar«, Zagreb; »Saponia«, Osijek; Savez sportskih ribolovaca Slovenije; Savezna direkcija za promet i rezerve robe s posebnom namjenom, Beograd; Savezni komitet za energetiku i industriju; Savezni komitet za poljoprivredu; Savezni komitet za zdravstvo i socijalnu zaštitu; SOUR »Monting«, RZ Inženjering, Zagreb; SOUR »Rade Končar«, Zagreb; Sveučilište u Osijeku; Sveučilište u Prištini; Sveučilište u Rijeci; Sveučilište u Splitu; Sveučilište u Zagrebu; Tvornica olovaka, Zagreb; Ujedinjena kemijska industrija, Karlovac; Uprava ABHO SSNO, Beograd; »Vatrosprem«, Zagreb; »Vatrotehna«, Zagreb; »Vodoplin«, Rijeka; Vojno-tehnički institut, Beograd; Zajednica elektroprivrednih zajednica Hrvatske; Zavod za javno zdravstvo SR Bosne i Hercegovine; Zavod za javno zdravstvo SR Slovenije; Zavod za kliničku onkologiju i radioterapiju, Klinički bolnički centar, Zagreb.



## 4.8. Međunarodna suradnja

Institut »Ruđer Bošković« osnovan je i sa svrhom da našu zemlju i znanost u njoj dovedu u usku vezu sa svijetom. Od samog osnutka do danas mogu se razlikovati tri faze suradnje.

U prvoj fazi odgoja istraživača i uvođenja modernih istraživačkih metoda i tehnika, Institut je planski slao najbolje studente fizike, poslije i kemije, biologije i medicine, na postdiplomsko školovanje u zemlje Zapadne Evrope.

U tom razdoblju pedesetih godina to je bila gotovo jedina radna veza Instituta sa svijetom.

Početkom šezdesetih godina, uz povećanje broja mladih suradnika koji odlaze na postdoktorske stipendije u SAD, dobivaju se prvi međunarodni istraživački ugovori koji se izvršavaju u Laboratorijima Instituta. Sponzor tih prvih ugovora jest Međunarodna agencija za atomsku energiju. Taj oblik suradnje prvi je aktivni doticaj Instituta sa sistemom specijaliziranih agencija Ujedinjenih naroda.

Potkraj šezdesetih godina, uz održavanje svih prethodnih oblika povezivanja s inozemstvom, počinju se u Institutu pojavljivati i prvi suradnički istraživački ugovori. Suradnja sa SAD osobito je jaka između 1969. i 1975. i očituje se u tzv. »žitnom fondu«. U to se doba ostvaruju suradnički ugovori, uglavnom preko suradnika koji su prije toga boravili na specijalizaciji u SAD, posredstvom specijaliziranih fondacija. (*National Science Foundation, National Bureau of Standards, National Institutes of Health i Environmental Protection Agency*).

Tada se pojavljuju i prvi radni dodiri s drugim specijaliziranim agencijama Ujedinjenih naroda (UNEP, UNESCO, IFAO, WHO, WMO, IOC). Institut je

odigrao i važnu ulogu kao predstavnik naše zemlje u ostvarivanju Mediteranskog programa Ujedinjenih naroda, koji je okupio sve Mediteranske zemlje. Centar za istraživanje mora stvara zaseban Laboratorij za morsku molekularnu biologiju 1970, kao suradničku ustanovu Instituta »Ruđer Bošković« i Sveučilišta u Mainzu. Kao stalni suradnici, rade u tom Laboratoriju od tada zajedno istraživači iz naše zemlje i istaknuti istraživači iz SR Njemačke.

Sedamdesetih godina suradnici Instituta počinju svoju djelatnost i kao stručnjaci Ujedinjenih naroda, posebno na području nuklearnih znanosti. Kao stručnjaci i sveučilišni predavači, borave u Brazilu, Peruu, Maroku, Madagaskaru, Libiji i Egiptu.

Ostvaruju se i suradnički dodiri sa zemljama SEV-a na raznim područjima osnovnih istraživanja i njihove primjene. Što se tiče proračunavanja zagađivanja okoliša, Institut stupa u radne dodire s institutima SR Njemačke i SAD.

Sve češće laboratoriji Instituta postaju i mjesto specijalizacije stručnjaka iz drugih zemalja. U nekoliko navrata provode u Institutu svoje godišnje dopuste (*sabbathical*) sveučilišni profesori iz SAD, stručnjaci iz Francuske, SSSR, Grčke, ČSSR, Poljske, Mađarske i SR Njemačke. Neki od tih poticaja plod su neposrednoga zanimanja stranih stručnjaka za rad u Institutu, a mnogi drugi, osim toga interesa, ulaze u okvir službene međudržavne suradnje.

Zbog tih nastojanja, Institut dobiva i priznanja savezne vlade: suradnici Instituta upućuju se kao članovi državnih delegacija na razna zasjedanja ili na dužnosti u diplomatskoj službi.

## 4.9. Izdavačka djelatnost

Uz redovnu publicističku djelatnost suradnikâ Instituta, koja se odražava u objavljivanju rezultata znanstvenih istraživanja u specijaliziranim domaćim i inozemnom časopisima, Institut posvećuje mnogo pažnje i izdavanju časopisa.

Institut je izdavač časopisa *Thalassia Jugoslavica*, specijaliziranog za znanost o moru. U njemu se objavljuju originalni radovi naših i inozemnih istraživača. Objavljuju se i zbornici simpozijâ i kongresâ koje Institut organizira.

Časopisi *Croatica Chemica Acta* i *Periodicum Biologorum* službeno su kemijsko odnosno biološko glasilo Instituta, a objavljuju se u suradnji s Hrvatskim

kemijskim društvom odnosno Hrvatskim prirodoslovnim društvom. Ta dva časopisa do danas su jedini časopisi na tlu SFR Jugoslavije kojih sadržaj izlazi u *Current Contents* i koji se citiraju u *Citation Index*. Institut je suizdavač i časopisima *Elektrotehnika*, *Nuklearna energetika* i jedan od utemeljivača časopisu *Tehnika*.

U okviru izdavačke djelatnosti Instituta treba spomenuti i niz zbornika s radovima objavljenim na nacionalnim i internacionalnim simpozijima, koji se, u okviru raznih struka i disciplina, održavaju povremeno u organizaciji suradnikâ Instituta.

*Cilj ovog prikaza je bio da čitaocu pruži uvid u postanak i glavne pravce razvitka Instituta »Ruder Bošković« kroz proteklih 30 godina. Pokušajmo na tom temelju nešto reći o budućnosti Instituta i njegovoj znanstvenoj perspektivi.*

*Više smo puta spominjali da je, i pored svih teškoća s kojima se sretao u svom razvojnem putu, Institut danas najjača koncentracija znanstvenog kadra i znanstvene opreme u Hrvatskoj. To je osnovica na kojoj treba graditi budućnost Instituta. Institut treba i dalje ostati rasadnik kvalitetnog kadra koji se može stvarati samo u sredini koja postavlja visoke zahtjeve i ima visoki standard kvalitete znanstvenog rada. Zato udio Instituta u neposrednom odgoju znanstvenog kadra treba svakako povećati i njegov nastavni kapacitet bolje i potpunije iskoristiti.*

*Rad na fundamentalnim i usmjerenim fundamentalnim istraživanjima, karakterističan za Institut od samog osnivanja, treba i dalje ostati okosnica njegove djelatnosti. Treba, međutim, uočiti da je razina znanstvene opremljenosti za rad na fundamentalnim istraživanjima na Institutu danas dalje od svjetske razine nego što je to bila pred desetak-petnaest godina. Trebat će uložiti značajne napore da se taj razmak opet smanji. Jasno je da samo veoma visoki kvalitet tih istraživanja može opravdati te napore i ulaganja koja ih prate.*

*Pozitivan trend povećanja razmjene rada s neposrednim korisnicima, rad na tehnološkim rješenjima i prijenos suvremene tehnologije u industriju, zdravstvo, JNA i druge grane privrednog i društvenog života treba naglasiti u većoj mjeri nego što je to do sada bio slučaj. U rješavanju složenih tehnoloških problema Institut može i mora postati ne samo koristan, nego i neophodan partner udruženog rada. Njegova struktura, kadrovski potencijal i položaj u društvu trebaju mu pomoći da izvrši tu nadasve značajnu misiju.*



U pisanju teksta sudjelovali su:

M. Boranić, M. Bulat, N. Cindro, E. Coffu, L. Colombo, L. Cucančić, T. Cvitaš, Ž. Deanović, R. Despotović, I. Dvornik, B. Etlinger, M. Furić, A. Graovac, J. Hendeković, I. Hršak, M. Jurin, S. Kaučić, D. Keglević, B. Kojić-Prdić, M. Konrad, Ž. Kučan, S. Kveder, Z. Majerski, Z. Meić, B. Miletić, R. Mutabžija, D. Peričić, D. Petrović, G. Pifat, V. Pravdić, M. Rijavec, V. Stanković, V. Škarić, D. Šokčević, Z. Šternberg, Ž. Trgovčević, N. Urli, Lj. Vitale, M. Wrischer i N. Zovko

Kolor fotografije:

J. Četković i V. Pravdić

Urednički odbor: N. Cindro (predsjedavajući), R. Despotović, J. Hendeković, M. Jurin, D. Keglavić, R. Mutabžija i V. Pravdić

Tehnički urednik: M. Jurin

Lektor: M. Grčić

Korektori: N. Cindro, R. Despotović, J. Hendeković, M. Jurin, R. Mutabžija i V. Pravdić

Izdavač: Institut »Ruder Bošković«

Naklada: 1500 primjeraka

Tisak: »JUMENA«, Šalata bb, Zagreb